

MÉMORIAL

DE

L'ARTILLERIE.





MÉMORIAL

DE

L'ARTILLERIE.

PRIX D'ENCOURAGEMENT.

Extrait du Registre des Délibérations du Comité de l'Artillerie.

SÉANCE DU 1er. FÉVRIER 1828.

Par suite de la décision ministérielle du 10 juillet 1824 et de l'avis du comité du 13 janvier 1826, insérés l'un et l'autre dans le *Mémorial de l'artillerie*, trois prix d'encouragement ont été affectés au concours de 1827. La question proposée pour le premier prix avait pour objet de discuter l'emploi des principaux moteurs, d'indiquer, pour chacun d'eux, les moyens les plus convenables pour transmettre la force motrice, et de faire l'application de ces résultats à l'une des machines

employées dans l'artillerie, en cherchant le rapport entre la puissance dépensée et l'effet réellement produit; la seconde question était relative à la confection des cartouches à balles, à leur emploi et à leurs effets comparés à ceux du boulet et de l'obus; enfin, la troisième avait pour objet la discussion de la relation qui doit exister, dans les cartouches d'infanterie, entre le poids de la balle, l'espèce et le poids de la poudre, le vent, le calibre et la longueur du canon, et le poids du fusil.

Sept Mémoires destinés au concours ont été adressés à S. Exc. le ministre de la guerre, et renvoyés à l'examen du comité. Trois de ces Mémoires sont relatifs à la première question, trois à la seconde, un seul à la troisième. Ils ont été examinés avec le plus grand soin, et l'analyse suivante présente le résultat de cet examen.

Première question. Cette question était ainsi conçue :

« Discuter l'emploi des principaux moteurs, » tels que manéges, roues hydrauliques et ma» chines à vapeur, dans les usines de l'artillerie, » suivant les localités et les convenances du ser» vice. Indiquer dans chaque cas, pour trans» mettre la force motrice, les moyens les plus » simples, les moins susceptibles de se déran» ger, offrant le moins de résistance à vaincre et » présentant le plus de facilité, soit pour régu-

» lariser le mouvement, soit pour le modérer à
» volonté.

» Appliquer ces résultats à l'une des diverses
» machines employées dans les usines de l'artil-
» lerie, supposée mise en mouvement par l'un
» des trois moteurs indiqués ci-dessus, en ayant
» égard aux frottemens, aux réactions et en gé-
» néral aux résistances de diverse nature qui sont
» des conséquences physiques de la composition
» et du mouvement de la machine. Chercher le
» rapport entre la puissance dépensée et l'effet
» réellement produit, en s'appuyant sur le calcul
» et sur les résultats d'expériences bien faites.

» Le Mémoire sera accompagné du dessin de
» la machine et des calculs numériques y re-
» latifs. »

Sur les trois Mémoires dans lesquels est traitée cette question, deux ont particulièrement fixé l'attention du comité. Le premier porte pour épigraphe : « Le mécanicien ne peut espérer de » succès que d'un heureux accord entre la théorie » et l'expérience. » L'auteur de ce Mémoire a bien saisi l'ensemble de la question et l'a traitée avec méthode, ordre et clarté. Un avant-propos, servant d'exposition, fait connaître le point de vue sous lequel la question est envisagée, la marche suivie dans sa solution, les principes de théorie et les données d'expérience admis, ainsi que les mesures de convention adoptées pour

exprimer l'unité dynamique. Le Mémoire se divise en quatre parties; dans la première, les trois moteurs dont il s'agit sont discutés et comparés; on y calcule pour chacun d'eux, le rapport entre la force dépensée et l'effet utile. Ces résultats généraux sont ensuite appliqués à l'établissement des usines de l'artillerie.

La deuxième partie renferme les formules qui peuvent servir à déterminer les circonstances principales de la construction des trois moteurs. L'auteur rapporte ensuite une série d'expériences qu'il a été à même d'entreprendre sur le manége de la fonderie de Strasbourg, dans le but de vérifier les rapports différens donnés par divers auteurs, entre la force employée et l'effet produit dans les manéges; il finit par proposer un moyen pour régulariser leur mouvement. Passant à l'établissement des roues hydrauliques, il commence par exposer la théorie de l'écoulement des fluides par une surface ou un orifice déterminés; décrit les expériences sur lesquelles cette théorie est fondée; discute l'emploi des roues en dessus, en dessous et de côté; établit pour chacune d'elles le rapport entre l'effet utile et la force dépensée; et, résumant leurs avantages et leurs inconvéniens, il examine les circonstances locales qui peuvent influer sur le choix à faire de l'une ou de l'autre de ces roues. Il termine par la discussion des propriétés et des effets des diverses machines à

vapeur qui ont été mises en usage jusqu'à ce jour, et par l'indication des moyens d'apprécier les frottemens des diverses pièces, dans les machines.

La troisième partie commence par l'exposition des détails de construction des parties des moteurs qui ont une influence directe sur leurs propriétés mécaniques; l'auteur cite les formules pratiques, au moyen desquelles Tredgold détermine les dimensions des arbres ou axes en fonte de fer, ainsi que les rapports de force des autres matériaux en usage, pour qu'ils puissent résister tant à la pression qu'à la torsion qu'ils doivent supporter; il rapporte également les formules relatives à la détermination des dimensions des vannes en fer et en bois; fait connaître les moyens à mettre en usage pour régulariser le mouvement des roues hydrauliques et éviter la contraction de la veine fluide; traitant ensuite des engrenages, il compare la théorie du tracé des dents des roues, avec le procédé pratique employé par la plupart des artistes, et donne le tracé des cames; il termine par l'exposé de la théorie des volans.

Enfin, dans la quatrième partie, l'auteur fait l'application des principes qu'il vient de développer à la construction d'une scierie circulaire; il compare les effets de cette machine avec ceux des scieries à mouvement alternatif et des scies mues par des scieurs de long. Après avoir déterminé

le diamètre de la scie circulaire, sa vitesse et celle du chariot, il calcule la force que la machine consommera et par conséquent celle que devra avoir le moteur, et fait choix des moyens de transmission de la force motrice, qui se prêtent le mieux aux inégalités de la résistance des bois de même espèce. Donnant tous les calculs relatifs aux diverses parties de sa machine, il termine par en faire une description sommaire, pour l'intelligence des dessins qui accompagnent le Mémoire.

L'auteur applique ensuite les règles générales qu'il a établies, à la construction d'un martinet de raffineur d'acier. Il prend pour base de cette construction celle d'un martinet de cette espèce, établi à Zornhoff, près Saverne; il cherche à remédier aux défauts que l'expérience y a fait reconnaître, et entre dans de nombreux détails pour déterminer les dimensions des différentes parties du martinet et les précautions à prendre pour les établir de manière à ce qu'il fonctionne avec régularité, tout en satisfaisant aux divers besoins du raffineur d'acier. Il donne la description et les dessins du martinet, comme il l'a fait pour la scierie.

On voit, par cette analyse, que l'auteur de ce Mémoire a satisfait aux principales conditions du programme, et les a en général remplies d'une manière satisfaisante. Quelques-unes des expé-

riences qu'il rapporte sont entièrement neuves ou peu connues. Dans tout le cours de ce travail il fait preuve de connaissances étendues, d'une grande sagacité dans ses observations et de beaucoup d'aptitude pour les applications des théories mécaniques à la construction des machines. Les recherches particulières auxquelles il s'est livré offrent de l'intérêt. Il eût été à désirer qu'elles fussent plus étendues et fissent connaître d'une manière plus complète l'influence que la manière d'agir du moteur peut exercer sur les produits. Néanmoins, le comité appréciant le zèle de l'auteur et le mérite de son travail, est d'avis qu'il doit lui être décerné un prix, consistant en une médaille d'or de la valeur de 1000 francs.

Le second Mémoire qui a été distingué par le comité, porte pour devise : « Ut desunt vires, » tamen est laudanda voluntas. » L'auteur commence par déclarer que, n'ayant encore été employé dans aucun des établissemens spéciaux de l'arme, il n'a pu être à même de vérifier par l'expérience; les données qu'il a puisées dans la théorie et dans les ouvrages des meilleurs auteurs qui se sont occupés de l'application de la mécanique aux machines. Il compare l'emploi des trois moteurs indiqués par le programme; il examine d'abord quelle est la manière de tirer le meilleur parti possible de la force du cheval; discute ensuite les causes de l'irrégularité du

mouvement des machines mues par un manége ; en indique deux principales, dont l'une est inhérente au moteur et l'autre aux résistances des pièces principales du système; il cherche les moyens d'y remédier ; enfin, il examine les circonstances particulières dans lesquelles l'emploi des manéges peut être utile. Passant aux roues hydrauliques, il compare les effets des trois espèces de roues en usage, et discute leur valeur relative selon les circonstances. Il présente ensuite un exposé sommaire de la manière dont la chaleur se propage dans les liquides, et du mode d'action de la force expansive de la vapeur, ce qui le conduit à décrire en détail les propriétés des trois espèces principales de machines à vapeur. Il compare ensuite les effets des trois moteurs qu'il vient de décrire, expose les divers moyens employés ordinairement pour transmettre la force motrice, ainsi que pour modérer ou régulariser le mouvement, et termine sa première partie, par quelques observations sur les machines à forer les canons et sur l'émoulage des diverses parties des armes portatives, à meules sèches ou humides.

Dans la deuxième partie, l'auteur fait l'application de ses principes à la construction des différentes machines qui peuvent être utiles dans un arsenal de construction, telles que : deux martinets, une scierie, un mouton découpoir,

deux tours, dont un en bois et un en fer, une meule à aiguiser, enfin, un rabot à dresser les surfaces planes. Il suppose toutes ces usines mises en mouvement par une seule machine à vapeur, et détermine la force à lui donner pour qu'elle puisse faire mouvoir séparément chaque machine, en calculant pour chacune d'elles le rapport entre la force dépensée et l'effet réellement produit. L'auteur ne se dissimule pas les difficultés inhérentes à l'exécution de ce projet; mais en se livrant à ce travail, il a voulu, dit-il, mettre à profit ses loisirs, et faire voir qu'il n'a pas craint d'envisager la question sous le point de vue qui exige le plus de peines et de recherches.

Ce Mémoire, écrit avec beaucoup de méthode et de clarté, est accompagné de cinq feuilles de dessin, remarquables par la beauté de leur exécution. Si l'auteur n'a pas satisfait complètement à toutes les conditions du programme, si plusieurs de ses assertions sont susceptibles d'être contestées, si quelques-unes des dispositions qu'il propose sont plus ingénieuses qu'exécutables, il en fait connaître lui-même les motifs. Du reste, il a fait preuve de connaissances théoriques très-étendues, et s'est imposé un travail beaucoup plus considérable sous quelques rapports que celui qui lui était demandé par le programme. Le comité pense, en conséquence, que son Mé-

moire mérite une mention honorable, et qu'il est juste d'accorder à l'auteur une gratification à titre d'encouragement et comme témoignage de satisfaction.

Deuxième question. Cette question est ainsi conçue :

« Discuter les circonstances dans lesquelles on » doit employer les cartouches à balles, de pré» férence aux boulets et obus, et les distances » auxquelles ce tir peut produire les effets les plus » avantageux.

» Déterminer la grosseur, le nombre, l'arran» gement des balles, les plus convenables à cha» que calibre et à chaque espèce de bouche à feu, » ainsi que la forme et l'épaisseur du culot.

» Indiquer la nature et les qualités du métal » le plus propre à la fabrication des balles.

» Donner le rapport le plus avantageux entre » le poids de la boîte et celui de la charge, en » s'appuyant des expériences connues et indi» quant celles qui seraient à faire.

» Comparer sous ces divers points de vue, les » usages des puissances étrangères avec ce qui se » pratique en France. »

Des trois Mémoires relatifs à cette question, celui qui porte pour épigraphe : « Non levia aut » ludicra petuntur præmia, » a paru au comité supérieur aux deux autres, par l'étendue des recherches qu'il a exigées, par les renseignemens

utiles qu'il contient, et surtout par le programme d'expériences qui y est présenté.

Ce Mémoire est divisé en cinq parties principales. La première comprend ce qui a rapport au tir à balles dans les canons. L'auteur cherche d'abord à déterminer les lois qui doivent établir le rapport entre le poids des boulets et le poids des boites à balles, et entre ce dernier et celui de la charge de poudre. Il discute les opinions d'Antoni, de Scharnhorst; et, sans admettre dans tous les cas, la loi donnée par ce dernier sur le poids de la charge des boites à balles, il essaie de la compléter, en s'appuyant sur les résultats de l'expérience. Passant ensuite à l'examen de l'effet des balles de différentes grosseurs, il discute toutes les expériences connues, faites tant en France qu'à l'étranger sur cette partie de la question, et en tire diverses conclusions relatives à la grosseur, au nombre des balles et à leurs effets, suivant la distance à laquelle elles sont employées. Il traite ensuite de la dispersion des balles, et fait connaître l'influence qu'exerce, dans ce cas, le calibre et la longueur de l'âme des canons; passe à la discussion de la matière la plus propre à la fabrication des balles, ainsi que de l'arrangement le plus avantageux à leur donner dans la boite, et fait, à cet égard, des propositions qui lui paraissent avoir besoin d'être confirmées par l'expérience, et qui sont en

partie l'objet de son programme. Il examine ensuite dans quelles circonstances de guerre un coup à balles est préférable à un coup à boulet. Enfin il fait l'application des principes généraux qu'il a établis à la détermination des diverses parties constituantes des boites à balles pour les canons de campagne des calibres français.

Dans la deuxième partie, l'auteur traite les mêmes questions pour les obusiers. Il rapporte et discute les expériences faites en différens pays avec les obusiers longs et courts, et cherche à en déduire la relation à établir entre le poids de l'obus, celui de la boîte à balles, celui de la charge de poudre et la grosseur des balles; il compare ensuite l'effet des boîtes à balles des canons de campagne à celui des boites à balles d'obusiers, sur des buts d'égale étendue superficielle. Enfin il cherche à reconnaître les lois de la dispersion des balles dans les obusiers, et propose la forme de boites qu'il croit la plus avantageuse.

La troisième partie renferme quelques considérations sur l'emploi du tir à balles sur les champs de bataille. Plaçant successivement l'artillerie dans diverses positions, sur des terrains accidentés et devant des obstacles qu'elle doit attaquer ou défendre, l'auteur indique les modifications qu'il lui paraît convenable d'apporter, suivant les circonstances, aux règles qui doivent régir le tir à balles. Du reste, il fait observer qu'il n'a abordé

cette partie de la question que pour remplir les conditions du programme, et reconnaît qu'il n'a pu acquérir une assez longue expérience de la guerre, pour la traiter d'une manière entièrement satisfaisante.

Dans la quatrième partie, l'auteur s'occupe des boîtes à balles des canons de siége. Après avoir posé les principes d'après lesquels il pense que ce mode de tir doit être dirigé dans la guerre de siéges, il en déduit la proposition de boîtes à balles, qui lui paraissent remplir le but que l'on doit se proposer, et demande des expériences pour déterminer les effets de ces boîtes, les hausses à employer suivant le commandement des remparts, ainsi que la distance jusqu'à laquelle on peut, avec sécurité, tirer par-dessus les défenseurs du chemin couvert.

Enfin, l'auteur termine son Mémoire en présentant le programme des expériences qui lui paraissent nécessaires soit pour confirmer les résultats déjà obtenus, soit pour éclaircir les points de la question que le défaut de données n'a pas permis de résoudre. Il indique, dans chaque cas, la manière dont les épreuves doivent être conduites, selon l'objet que l'on se propose de faire ressortir.

L'auteur de ce Mémoire, par les laborieuses recherches qu'il a faites, par l'utilité de son travail, par les nombreux matériaux qu'il a recueillis et

les investigations judicieuses auxquelles il s'est livré, paraît également au comité mériter un prix, consistant en une médaille d'or de la valeur de 1000 francs.

Troisième question. Cette question est ainsi conçue :

« Établir, pour la cartouche d'infantérie, la » relation qui doit exister entre le poids de la » balle, l'espèce et le poids de la poudre, le » vent, le calibre et la longueur du canon, et le » poids du fusil, à l'effet d'obtenir la portée la » plus avantageuse, et de diminuer en même » temps le recul autant que possible. Rechercher » quelle peut être l'influence, sur la portée et sur » le recul, de la pression résultante de l'action de » bourrer. Comparer, sous ces divers points de » vue, les armes de l'infanterie étrangère avec » celles de l'infanterie française. Discuter les prin- » cipales expériences faites sur cet objet, et, à dé- » faut d'expériences suffisantes, proposer le pro- » gramme de celles que l'on croirait nécessaire » de faire, pour parvenir à la solution complète de » la question.

» Examiner les avantages et les inconvéniens » à la guerre de l'emploi de deux espèces de car- » touches, l'une pour les armes de l'infanterie, » et l'autre pour celles de la cavalerie. Comparer » les usages des diverses puissances étrangères à » cet égard. »

Ainsi qu'il a été dit plus haut, un seul Mémoire a été présenté sur ce sujet.

L'auteur, après avoir rappelé les équations du mouvement dans le vide et dans un milieu résistant, discute les différentes méthodes approximatives employées par les géomètres pour intégrer ces équations. Il expose successivement les méthodes d'Euler et de M. d'Obenheim, et cherche, en suivant la même marche que ce dernier, à simplifier le tracé de la planchette du canonnier et à la rendre plus usuelle. Il propose une nouvelle planchette, qu'il nomme *planchette de l'artilleur*, au moyen de laquelle on peut résoudre immédiatement tous les problèmes de ballistique relatifs à chaque calibre, par le simple tracé préalable d'une horizontale fixe et de deux lignes droites inclinées.

De cette solution complète du problème général de la trajectoire, l'auteur passe à la discussion du mouvement que prennent les projectiles dans l'intérieur des armes à feu portatives. Il cite plusieurs expériences qui prouvent que l'inflammation de la poudre est successive, et indique celles qu'il croit propres à faire connaître les lois de sa propagation ; examine les trois modes de charger les armes à feu, à balle d'un diamètre égal au calibre du canon, plus grand ou plus petit ; les différentes positions que peut avoir la lumière par rapport à la charge ; rapporte et admet sans

discussion les opinions de plusieurs auteurs sur la force expansive de la poudre, et sur la forme la plus avantageuse à donner aux chambres, quoique ces opinions ne s'accordent pas entièrement avec les principes de physique généralement admis.

L'auteur cherche ensuite la loi suivant laquelle varie la force expansive de la poudre dans son inflammation successive, et détermine son action sur la balle et sur le fusil. Les expressions compliquées auxquelles il parvient, quoiqu'il ait négligé plusieurs élémens qui concourent à la production des effets, ne lui donnant aucun espoir d'arriver, par leur moyen, à la détermination des vitesses initiales, il les simplifie par l'hypothèse de l'inflammation instantanée et de l'annihilation du vent; et, faisant abstraction de la résistance de l'air et du recul du fusil, il trouve des formules qui donnent la vitesse imprimée au fusil et à la balle dans le canon. Il calcule les corrections dont ces formules sont susceptibles, pour les rendre applicables au cas de l'inflammation successive et de l'existence du vent. L'auteur en conclut que plus le calibre augmente, plus la vitesse initiale croît, et plus le poids du fusil doit être grand. Il propose d'alléger le fusil sans augmenter le recul, au moyen de dispositions qui ne paraissent pas sans inconvénient dans la pratique, et qui semblent même, d'après les diverses opinions et les expériences rapportées dans le

Mémoire, devoir produire des effets opposés à ceux qu'il en attend.

Passant à l'examen de la construction des diverses parties du fusil, et donnant la préférence aux platines à silex sur celles à piston pour les armes de guerre, l'auteur discute les causes des ratés qu'on leur reproche, et cherche à y remédier en présentant trois nouveaux tracés pour la platine. Il indique quelques modifications à faire à d'autres parties du fusil, et termine par la recherche de l'épaisseur à donner au canon. Il fait ensuite l'application de ce qui précède à la construction d'un fusil de rempart.

Dans la dernière partie de son mémoire, l'auteur applique les résultats consignés dans les parties précédentes, à la solution de la question mise au concours. Les équations auxquelles il est parvenu lui semblent donner complétement, dans le cas de l'inflammation instantanée, la relation qui doit exister entre le poids de la balle, la force et le poids de la poudre. Dans l'hypothèse de l'inflammation successive, il arrive aux relations analogues, au moyen de quelques essais et de courbes d'erreur. Relativement à l'influence de la pression résultant de l'action de bourrer, l'auteur discute les différens cas de la poudre ronde ou anguleuse, à gros ou à petits grains, et en conclut que la manière de bourrer prescrite par le règlement des manœuvres d'infanterie, est convenable sous

le rapport de la portée. Il n'établit aucune comparaison entre les armes françaises et étrangères; seulement il déduit de ses formules que la poudre fine aura l'avantage sous le rapport des portées, et fixe ensuite les relations des vitesses initiales de deux fusils de différens calibres, de différentes longueurs, différemment chargés, avec des poudres de différente force, relations qu'il donne comme guide à suivre dans une série d'expériences dont il présente le programme.

Enfin, il se prononce pour l'emploi de deux cartouches de poids différens, mais de même calibre, l'une pour l'infanterie, l'autre pour la cavalerie. Il pense qu'en adoptant le plus fort calibre que comportent les armes à feu portatives, celui de 15 à la livre, employé par les Anglais, on obtiendrait beaucoup plus de justesse dans le tir.

L'auteur de ce Mémoire n'a pas craint d'attaquer dans toute sa généralité la question compliquée du tir des armes à feu. Ses connaissances étendues en analyse et en mécanique lui ont fait surmonter de grandes difficultés, qui jusqu'à présent avaient empêché d'aborder cette question, même restreinte par les hypothèses qu'il a été forcé d'admettre. Les résultats auxquels il est parvenu, ne laissent pas, quoique hypothétiques, de donner des aperçus utiles. Cette considération, les expériences neuves et souvent ingénieuses pro-

posées dans le but de parvenir à la solution directe de la plupart des problèmes de la ballistique, enfin l'immensité du travail exécuté, rendent ce Mémoire très-recommandable. Il eût été à désirer seulement que l'auteur ne se fût pas quelquefois écarté des lois d'une saine théorie physique, surtout en ce qui est relatif à l'expansion des fluides élastiques.

La question proposée n'ayant pas été complétement résolue dans le seul Mémoire qui ait été envoyé, elle sera remise au concours pour l'année prochaine. Le comité regrette que l'auteur de ce travail remarquable n'ait pas envisagé le problème sous tous les points de vue, qu'il n'ait pas corrigé quelques opinions et assertions hasardées, et surtout qu'il n'ait pas consulté plus qu'il ne l'a fait les résultats de l'expérience, principaux appuis de toute bonne théorie. Il ne doute pas qu'en revoyant soigneusement son mémoire, ses efforts ne soient couronnés d'un plein succès.

L'examen des Mémoires terminé, le président a ouvert les lettres jointes à ceux que le comité a jugés dignes d'obtenir des prix ou une mention honorable.

Il a été reconnu :

1°. Que l'auteur du Mémoire ayant pour épigraphe, « *Le mécanicien ne peut espérer de succès que d'un heureux accord entre la théorie et l'expérience*, » était M. Morin, lieutenant au bataillon de pontonniers;

2°. Que l'auteur du Mémoire portant la devise, « *Ut desunt vires, tamen est laudanda voluntas*, » était M. Bobilier, lieutenant au 5°. régiment d'artillerie à pied, qui, au précédent concours, a déjà obtenu une mention honorable;

3°. Que l'auteur du Mémoire ayant pour épigraphe, « *Non levia aut ludicra petuntur præmia*, » était M. Lyautey, capitaine aide-de-camp de M. le lieutenant-général baron Berge.

Le comité a, en conséquence, l'honneur de prier S. Exc. de vouloir bien faire délivrer une médaille d'or de la valeur de 1000 francs à M. le lieutenant Morin, et une autre médaille d'or de la même valeur à M. le capitaine Lyautey; enfin d'accorder à M. Bobilier une gratification, à titre d'encouragement et comme témoignage de satisfaction. Les deux Mémoires couronnés devront être textuellement insérés dans le Mémorial, et celui de M. Bobilier sera déposé dans les archives de l'artillerie.

L'Inspecteur général du service de l'artillerie, Président,

Signé Comte VALÉE.

Le Lieutenant colonel d'artillerie, Secrétaire,

Signé BOUTEILLER.

Lettre de Son Exc. le Ministre de la Guerre,

A Mr. le Lieutenant général Comte Valée, Inspecteur général du service de l'Artillerie, Président du Comité,

Relative aux prix accordés par suite du Concours de 1827.

Paris, le 15 mars 1828.

Monsieur le Comte, j'ai l'honneur de vous prévenir que d'après le rapport du comité de l'artillerie, en date du 1er. février dernier, sur les résultats du concours de 1827, j'ai décidé ce qui suit :

1°. Le prix proposé pour la première question relative à l'emploi des principaux moteurs dans les usines de l'artillerie, à la discussion des moyens les plus convenables de transmettre la force motrice, et à l'application de ces résultats à une des machines employées dans l'artillerie, est décerné à M. Morin, lieutenant en premier au bataillon de pontonniers. Ce prix consistera en une médaille d'or de la valeur de mille francs.

Le comité m'ayant signalé très-honorablement

Extrait du Registre des Délibérations du comité de l'Artillerie.

SÉANCE DU 1er. FÉVRIER 1828.

Questions mises au Concours pour l'année 1829.

PREMIÈRE QUESTION.

Celle sur les cartouches d'infanterie proposée pour le précédent concours, et pour laquelle il n'y a pas eu de prix décerné.

DEUXIÈME QUESTION.

« Définir ce que l'on doit entendre par force » de la poudre; chercher quelles sont les circon-» stances du tir et les instrumens les plus propres » à mesurer cette force; quelles conséquences il » est permis de tirer des indications de ces in-» strumens.

» Discuter et comparer les moyens en usage et » ceux que l'on pourrait proposer pour éprouver » les poudres de guerre, tels que : éprouvettes » de main, à crémaillère, hydrostatique, à » pendule, à globe, etc.

» Examiner s'il ne conviendrait pas d'avoir des » instrumens de différentes espèces pour obtenir » des résultats comparables aux effets des diffé- » rentes poudres dans des armes différentes. »

Il règne sur les moyens d'éprouver la poudre une grande diversité d'opinions et parmi les théoriciens et parmi les artilleurs praticiens; on n'est pas même entièrement d'accord sur la définition précise à donner de la force de la poudre. La manière d'agir de cette substance varie tellement avec sa composition, avec la forme de l'espace qui la renferme, avec la nature des obstacles qu'elle doit vaincre, qu'il peut être nécessaire d'établir plusieurs modes d'en mesurer les effets, afin de pouvoir comparer ces effets entre eux. Depuis les premières expériences de d'Arcy, jusqu'à celles qui ont été exécutées à Woolwich, on a proposé plusieurs espèces d'éprouvettes, et aucune n'a paru réunir complétement les conditions auxquelles un pareil instrument doit satisfaire. Il est donc nécessaire de soumettre tout ce qui a été proposé sur cette question à une nouvelle discussion, et de chercher les moyens pratiques d'arriver à une mesure de la force qui admette le moins d'erreurs dans les conséquences que l'on doit en tirer.

TROISIÈME QUESTION.

« Indiquer, en se fondant sur les principes

» connus de la théorie des probabilités, le meilleur mode à adopter pour la recherche des portées moyennes.

» Discuter le mérite relatif des divers procédés en usage.

» Employer les procès verbaux d'épreuves soigneusement exécutées, soit en France, soit à l'étranger, pour en déduire des évaluations numériques appropriées aux besoins du service.

» Se bornant pour le moment à l'artillerie de campagne, dresser une table de toutes les bouches à feu en usage en France, avec les distances utiles auxquelles on peut tirer chacune d'elles; indiquer l'angle de tir ou les lignes de hausse correspondantes à ces diverses distances et aux divers projectiles en usage.

» L'étendue superficielle de l'objet à frapper, et sa position relativement à la batterie étant données, assigner pour chacune de ces bouches à feu, la fraction exprimant le rapport entre le nombre total des coups et les coups à effet. »

L'artillerie est en possession d'un certain nombre de procès verbaux d'épreuves sur les portées. Ces épreuves ont été dirigées avec cette intelligence et cette exactitude qui impriment aux résultats un caractère d'authenticité, et qui autorisent à s'en servir comme documens sûrs de

calcul. A ces données on peut joindre et les résultats obtenus dans les exercices annuels des polygones, et ceux des expériences qui ont été entreprises dans la vue d'essayer des projets d'amélioration, d'en apprécier le mérite et l'opportunité. Cette accumulation progressive de faits ballistiques, réunissant un grand nombre de circonstances à peu près identiques, paraît renfermer les élémens nécessaires pour établir sur des bases solides une théorie des portées moyennes adaptée à la nature du service, et suffisante aux besoins de l'arme. Antoni, Lombard, Vega, Scharnhorst, ont prescrit et suivi des procédés de calcul pour obtenir ces moyennes; mais les résultats qu'ils obtiennent diffèrent souvent entre eux et ne s'accordent pas toujours avec l'expérience. Il sera donc utile d'établir une discussion critique sur ces diverses méthodes, de les apprécier d'après les principes du calcul des probabilités; et si cet examen n'est favorable à aucune, de trouver des règles qui resserrent les chances d'erreur dans les limites les plus rapprochées possible.

Le comité n'a pas cru devoir assigner le premier prix à telle ou telle question; il sera décerné au Mémoire qui résoudra de la manière la plus complète et la plus satisfaisante la question qui y sera traitée.

Les Mémoires adressés pour le concours de-

vront être parvenus au Ministère pour le 31 décembre 1829. Ce terme est de rigueur.

L'Inspecteur général du service de l'artillerie, Président,

Signé Comte VALÉE.

Le Lieutenant colonel d'artillerie, Secrétaire,

Signé BOUTEILLER.

MÉMOIRE

SUR

L'EMPLOI DES MOTEURS

DANS LES USINES DE L'ARTILLERIE,

PAR M. MORIN,
LIEUTENANT D'ARTILLERIE.

Le mécanicien ne peut espérer de succès que d'un heureux accord entre la théorie et l'expérience.

Question.

« Discuter l'emploi des principaux moteurs,
» tels que manéges, roues hydrauliques et ma-
» chines à vapeur, dans les usines de l'artillerie,
» suivant les localités et les convenances du
» service. Indiquer dans chaque cas, pour trans-
» mettre la force motrice, les moyens les plus
» simples, les moins susceptibles de se déranger,
» offrant le moins de résistance à vaincre et

» présentant le plus de facilité, soit pour régu-
» lariser le mouvement, soit pour le modérer à
» volonté.

» Appliquer ces résultats à l'une des diverses
» machines employées dans les usines de l'ar-
» tillerie, supposée mise en mouvement par l'un
» des trois moteurs indiqués ci-dessus, en ayant
» égard aux frottemens, aux réactions et en gé-
» néral aux résistances de diverse nature, qui
» sont des conséquences physiques de la com-
» position et du mouvement de la machine.
» Chercher le rapport entre la puissance dépensée
» et l'effet réellement produit, en s'appuyant sur
» le calcul et sur les résultats d'expériences bien
» faites.

» Le Mémoire sera accompagné du dessin de
» la machine et des calculs numériques y rela-
» tifs. »

Mémorial de l'Artillerie, n°. Ier., pag. 17.

AVANT-PROPOS.

Avant d'entamer la discussion qui fait l'objet de ce Mémoire, on croit devoir expliquer la marche adoptée, les mesures de convention admises, et la division introduite dans le travail. Il en résultera plus de simplicité et plus de clarté.

La question proposée donne lieu à des recherches fort étendues; s'il fallait en traiter ici tous les détails, on serait conduit à un travail immense, dont une grande partie ne serait qu'une répétition de ce que beaucoup d'auteurs ont déjà dit. Je n'ai pas cru devoir l'envisager sous un aussi vaste aspect, et voici dans quel sens j'ai compris le but que le comité s'était proposé en mettant cette question au concours.

La variété des branches du service de l'artillerie, ne permettant pas à la plupart des officiers de se livrer aux longues recherches qu'exige l'étude de la mécanique, il s'agissait de comparer entre eux les trois moteurs le plus fréquemment employés dans les établissemens; de donner des

le rapport de la portée. Il n'établit aucune comparaison entre les armes françaises et étrangères; seulement il déduit de ses formules que la poudre fine aura l'avantage sous le rapport des portées, et fixe ensuite les relations des vitesses initiales de deux fusils de différens calibres, de différentes longueurs, différemment chargés, avec des poudres de différente force, relations qu'il donne comme guide à suivre dans une série d'expériences dont il présente le programme.

Enfin, il se prononce pour l'emploi de deux cartouches de poids différens, mais de même calibre, l'une pour l'infanterie, l'autre pour la cavalerie. Il pense qu'en adoptant le plus fort calibre que comportent les armes à feu portatives, celui de 15 à la livre, employé par les Anglais, on obtiendrait beaucoup plus de justesse dans le tir.

L'auteur de ce Mémoire n'a pas craint d'attaquer dans toute sa généralité la question compliquée du tir des armes à feu. Ses connaissances étendues en analyse et en mécanique lui ont fait surmonter de grandes difficultés, qui jusqu'à présent avaient empêché d'aborder cette question, même restreinte par les hypothèses qu'il a été forcé d'admettre. Les résultats auxquels il est parvenu, ne laissent pas, quoique hypothétiques, de donner des aperçus utiles. Cette considération, les expériences neuves et souvent ingénieuses pro-

posées dans le but de parvenir à la solution directe de la plupart des problèmes de la ballistique, enfin l'immensité du travail exécuté, rendent ce Mémoire très-recommandable. Il eût été à désirer seulement que l'auteur ne se fût pas quelquefois écarté des lois d'une saine théorie physique, surtout en ce qui est relatif à l'expansion des fluides élastiques.

La question proposée n'ayant pas été complétement résolue dans le seul Mémoire qui ait été envoyé, elle sera remise au concours pour l'année prochaine. Le comité regrette que l'auteur de ce travail remarquable n'ait pas envisagé le problème sous tous les points de vue, qu'il n'ait pas corrigé quelques opinions et assertions hasardées, et surtout qu'il n'ait pas consulté plus qu'il ne l'a fait les résultats de l'expérience, principaux appuis de toute bonne théorie. Il ne doute pas qu'en revoyant soigneusement son mémoire, ses efforts ne soient couronnés d'un plein succès.

L'examen des Mémoires terminé, le président a ouvert les lettres jointes à ceux que le comité a jugés dignes d'obtenir des prix ou une mention honorable.

Il a été reconnu :

1°. Que l'auteur du Mémoire ayant pour épigraphe, « *Le mécanicien ne peut espérer de succès que d'un heureux accord entre la théorie et l'expérience*, » était M. Morin, lieutenant au bataillon de pontonniers;

2°. Que l'auteur du Mémoire portant la devise, « *Ut desunt vires, tamen est laudanda voluntas*, » était M. Bobilier, lieutenant au 5°. régiment d'artillerie à pied, qui, au précédent concours, a déjà obtenu une mention honorable ;

3°. Que l'auteur du Mémoire ayant pour épigraphe, « *Non levia aut ludicra petuntur præmia*, » était M. Lyautey, capitaine aide-de-camp de M. le lieutenant général baron Berge.

Le comité a, en conséquence, l'honneur de prier S. Exc. de vouloir bien faire délivrer une médaille d'or de la valeur de 1000 francs à M. le lieutenant Morin, et une autre médaille d'or de la même valeur à M. le capitaine Lyautey ; enfin d'accorder à M. Bobilier une gratification, à titre d'encouragement et comme témoignage de satisfaction. Les deux Mémoires couronnés devront être textuellement insérés dans le Mémorial, et celui de M. Bobilier sera déposé dans les archives de l'artillerie.

L'Inspecteur général du service de l'artillerie, Président,

Signé Comte Valée.

Le Lieutenant colonel d'artillerie, Secrétaire,

Signé Bouteiller.

Lettre de Son Exc. le Ministre de la Guerre,

A M. le Lieutenant général Comte Valée, Inspecteur général du service de l'Artillerie, Président du Comité,

Relative aux prix accordés par suite du Concours de 1827.

Paris, le 15 mars 1828.

Monsieur le Comte, j'ai l'honneur de vous prévenir que d'après le rapport du comité de l'artillerie, en date du 1er. février dernier, sur les résultats du concours de 1827, j'ai décidé ce qui suit :

1°. Le prix proposé pour la première question relative à l'emploi des principaux moteurs dans les usines de l'artillerie, à la discussion des moyens les plus convenables de transmettre la force motrice, et à l'application de ces résultats à une des machines employées dans l'artillerie, est décerné à M. Morin, lieutenant en premier au bataillon de pontonniers. Ce prix consistera en une médaille d'or de la valeur de mille francs.

Le comité m'ayant signalé très-honorablement

le Mémoire sur la même question adressé au concours par M. Bobilier, lieutenant en premier au 5e. régiment d'artillerie à pied, qui au précédent concours avait déjà obtenu une mention honorable, il est accordé à cet officier, à titre d'encouragement et comme un témoignage de ma satisfaction, une gratification de cinq cents francs.

2°. Le prix proposé pour la seconde question, relative à la confection des cartouches à balles, à leur emploi et à leurs effets comparés à ceux du boulet et de l'obus, est décerné à M. le capitaine Lyautey, aide-de-camp de M. le lieutenant-général baron Berge. Ce prix consistera, comme le précédent, en une médaille d'or de la valeur de mille francs.

Le comité ayant jugé que le seul Mémoire adressé au concours, sur la question relative à la relation des divers élémens de la cartouche des armes à feu portatives, n'a pas présenté une solution complétement satisfaisante, quoique ce mémoire soit très-recommandable par les connaissances dont l'auteur a fait preuve, et par l'étendue du travail auquel il s'est livré, cette question est remise au concours pour l'année 1829.

Je vous prie, Monsieur le Comte, de faire part de cette décision au comité de l'artillerie, et de la porter également à la connaissance des officiers du corps royal, en la faisant insérer dans le plus prochain numéro du Mémorial.

J'ai l'honneur d'être, Monsieur le Comte, avec la considération la plus distinguée, votre très-humble et très-obéissant serviteur,

Le Ministre secrétaire d'état de la guerre,

Signé Vicomte DE CAUX.

Extrait du Registre des Délibérations du comité de l'Artillerie.

SÉANCE DU 1er. FÉVRIER 1828.

Questions mises au Concours pour l'année 1829.

PREMIÈRE QUESTION.

Celle sur les cartouches d'infanterie proposée pour le précédent concours, et pour laquelle il n'y a pas eu de prix décerné.

DEUXIÈME QUESTION.

« Définir ce que l'on doit entendre par force » de la poudre; chercher quelles sont les circon- » stances du tir et les instrumens les plus propres » à mesurer cette force; quelles conséquences il » est permis de tirer des indications de ces in- » strumens.

» Discuter et comparer les moyens en usage et » ceux que l'on pourrait proposer pour éprouver » les poudres de guerre, tels que : éprouvettes » de main, à crémaillère, hydrostatique, à » pendule, à globe, etc.

» Examiner s'il ne conviendrait pas d'avoir des » instrumens de différentes espèces pour obtenir » des résultats comparables aux effets des diffé» rentes poudres dans des armes différentes. »

Il règne sur les moyens d'éprouver la poudre une grande diversité d'opinions et parmi les théoriciens et parmi les artilleurs praticiens; on n'est pas même entièrement d'accord sur la définition précise à donner de la force de la poudre. La manière d'agir de cette substance varie tellement avec sa composition, avec la forme de l'espace qui la renferme, avec la nature des obstacles qu'elle doit vaincre, qu'il peut être nécessaire d'établir plusieurs modes d'en mesurer les effets, afin de pouvoir comparer ces effets entre eux. Depuis les premières expériences de d'Arcy, jusqu'à celles qui ont été exécutées à Woolwich, on a proposé plusieurs espèces d'éprouvettes, et aucune n'a paru réunir complétement les conditions auxquelles un pareil instrument doit satisfaire. Il est donc nécessaire de soumettre tout ce qui a été proposé sur cette question à une nouvelle discussion, et de chercher les moyens pratiques d'arriver à une mesure de la force qui admette le moins d'erreurs dans les conséquences que l'on doit en tirer.

TROISIÈME QUESTION.

« Indiquer, en se fondant sur les principes

» connus de la théorie des probabilités, le meil-
» leur mode à adopter pour la recherche des
» portées moyennes.

» Discuter le mérite relatif des divers procédés
» en usage.

» Employer les procès verbaux d'épreuves
» soigneusement exécutées, soit en France,
» soit à l'étranger, pour en déduire des évalua-
» tions numériques appropriées aux besoins du
» service.

» Se bornant pour le moment à l'artillerie de
» campagne, dresser une table de toutes les bou-
» ches à feu en usage en France, avec les distances
» utiles auxquelles on peut tirer chacune d'elles;
» indiquer l'angle de tir ou les lignes de hausse
» correspondantes à ces diverses distances et aux
» divers projectiles en usage.

» L'étendue superficielle de l'objet à frapper,
» et sa position relativement à la batterie étant
» données, assigner pour chacune de ces bouches
» à feu, la fraction exprimant le rapport en-
» tre le nombre total des coups et les coups à
» effet. »

L'artillerie est en possession d'un certain nombre de procès verbaux d'épreuves sur les portées. Ces épreuves ont été dirigées avec cette intelligence et cette exactitude qui impriment aux résultats un caractère d'authenticité, et qui autorisent à s'en servir comme documens sûrs de

calcul. A ces données on peut joindre et les résultats obtenus dans les exercices annuels des polygones, et ceux des expériences qui ont été entreprises dans la vue d'essayer des projets d'amélioration, d'en apprécier le mérite et l'opportunité. Cette accumulation progressive de faits ballistiques, réunissant un grand nombre de circonstances à peu près identiques, paraît renfermer les élémens nécessaires pour établir sur des bases solides une théorie des portées moyennes adaptée à la nature du service, et suffisante aux besoins de l'arme. Antoni, Lombard, Véga, Scharnhorst, ont prescrit et suivi des procédés de calcul pour obtenir ces moyennes; mais les résultats qu'ils obtiennent diffèrent souvent entre eux et ne s'accordent pas toujours avec l'expérience. Il sera donc utile d'établir une discussion critique sur ces diverses méthodes, de les apprécier d'après les principes du calcul des probabilités; et si cet examen n'est favorable à aucune, de trouver des règles qui resserrent les chances d'erreur dans les limites les plus rapprochées possible.

Le comité n'a pas cru devoir assigner le premier prix à telle ou telle question; il sera décerné au Mémoire qui résoudra de la manière la plus complète et la plus satisfaisante la question qui y sera traitée.

Les Mémoires adressés pour le concours de-

vront être parvenus au Ministère pour le 31 décembre 1829. Ce terme est de rigueur.

L'Inspecteur général du service de l'artillerie, Président,

Signé Comte VALÉE.

Le Lieutenant colonel d'artillerie, Secrétaire,

Signé BOUTEILLER.

MÉMOIRE

SUR

L'EMPLOI DES MOTEURS

DANS LES USINES DE L'ARTILLERIE,

PAR M. MORIN,

LIEUTENANT D'ARTILLERIE.

Le mécanicien ne peut espérer de succès que d'un heureux accord entre la théorie et l'expérience.

Question.

« Discuter l'emploi des principaux moteurs,
» tels que manéges, roues hydrauliques et ma-
» chines à vapeur, dans les usines de l'artillerie,
» suivant les localités et les convenances du
» service. Indiquer dans chaque cas, pour trans-
» mettre la force motrice, les moyens les plus
» simples, les moins susceptibles de se déranger,
» offrant le moins de résistance à vaincre et

» présentant le plus de facilité, soit pour régu-
» lariser le mouvement, soit pour le modérer à
» volonté.

» Appliquer ces résultats à l'une des diverses
» machines employées dans les usines de l'ar-
» tillerie, supposée mise en mouvement par l'un
» des trois moteurs indiqués ci-dessus, en ayant
» égard aux frottemens, aux réactions et en gé-
» néral aux résistances de diverse nature, qui
» sont des conséquences physiques de la com-
» position et du mouvement de la machine.
» Chercher le rapport entre la puissance dépensée
» et l'effet réellement produit, en s'appuyant sur
» le calcul et sur les résultats d'expériences bien
» faites.

» Le Mémoire sera accompagné du dessin de
» la machine et des calculs numériques y rela-
» tifs. »

Mémorial de l'Artillerie, n°. Ier., pag. 17.

AVANT-PROPOS.

Avant d'entamer la discussion qui fait l'objet de ce Mémoire, on croit devoir expliquer la marche adoptée, les mesures de convention admises, et la division introduite dans le travail. Il en résultera plus de simplicité et plus de clarté.

La question proposée donne lieu à des recherches fort étendues; s'il fallait en traiter ici tous les détails, on serait conduit à un travail immense, dont une grande partie ne serait qu'une répétition de ce que beaucoup d'auteurs ont déjà dit. Je n'ai pas cru devoir l'envisager sous un aussi vaste aspect, et voici dans quel sens j'ai compris le but que le comité s'était proposé en mettant cette question au concours.

La variété des branches du service de l'artillerie, ne permettant pas à la plupart des officiers de se livrer aux longues recherches qu'exige l'étude de la mécanique, il s'agissait de comparer entre eux les trois moteurs le plus fréquemment employés dans les établissemens; de donner des

règles pratiques pour les construire, ainsi que les procédés d'exécution adoptés par les artistes, et que la théorie n'indique pas, sans toutefois entrer dans les longs développemens qu'entraîne la méthode démonstrative.

J'ai donc supposé reconnus et admis les résultats de la théorie et de l'expérience donnés par les auteurs qui font autorité; j'ai pris ces résultats, et me suis contenté d'indiquer la source d'où ils sont tirés. J'en ai déduit les formules numériques à employer dans les applications. Lorsque la théorie et la pratique ne donnaient pas de règles fixes, j'ai cherché à déduire de quelques expériences que j'ai faites, ou qui m'ont été communiquées, des formules d'un usage commode, et dans ce cas j'ai cru devoir entrer dans plus de détails, puisqu'il s'agissait de quelque chose qui n'avait pas encore été dit ou déterminé. Cette marche, sans rien ôter à la justesse des règles que je rapporte, n'a d'autre but que de diminuer l'étendue de ce Mémoire. Il sera toujours facile, à ceux qui ne voudraient pas admettre sans démonstration les formules ou les résultats, de recourir aux auteurs indiqués.

Je n'ai considéré les machines à vapeur que sous le point de vue général, et ne suis entré dans aucun détail sur leur théorie et leur mécanisme. Qu'aurais-je pu dire, en effet, qu'on ne trouvât

dans tous les livres qui traitent de ces machines, et qui pût être utile, dans la pratique, à des officiers d'artillerie? Jamais, sans doute, ils ne seront appelés à construire des machines à vapeur; cette fabrication est une industrie à part, et assez compliquée pour faire l'objet à peu près exclusif des travaux de ceux qui s'en occupent. Si nous en employons dans nos usines, alors, à l'instar des autres établissemens industriels, nous les prendrons toutes faites, et nous n'aurons à nous occuper que des moyens de transmettre la force qu'elles possèdent.

Il n'en est pas de même des manéges et des roues hydrauliques, que les officiers d'artillerie peuvent être appelés journellement à construire; aussi ai-je cherché à donner tous les détails possibles sur la manière d'en calculer les dimensions et de les établir.

Relativement aux organes de transmission, j'ai supposé connue la théorie des engrenages, et me suis borné à donner les tracés pratiques à adopter.

En un mot, persuadé que le succès du mécanicien dépend d'un heureux accord entre la théorie et l'expérience, mon but principal a été d'indiquer tous les moyens d'exécution déduits de l'une et de l'autre, pour épargner, s'il est possible, à mes camarades, l'espèce de découragement qui suit souvent les recherches théoriques, lorsqu'on

s'aperçoit que les résultats n'en sont pas applicables immédiatement, et qu'on ne sait pas quelles sont les modifications qu'il faut leur faire subir.

Mesures de convention. Pour comparer deux machines entre elles, ou la force dépensée à l'effet utile produit par une machine, il faut adopter une unité de comparaison. Les mécaniciens sont dans l'usage de représenter une force quelconque par un poids élevé à une certaine hauteur dans un temps donné. Ainsi tout effort mécanique peut s'exprimer par un certain nombre de kilogrammes élevés à un mètre de hauteur dans une seconde, ou à un kilomètre dans un jour. Mais, si l'on est d'accord sur ce principe, on ne l'est pas sur les applications. En effet, au lieu de compter par kilogrammes, beaucoup de mécaniciens ont adopté pour terme de comparaison des groupes de kilogrammes, dont ils font leur unité dynamique; et, comme ils n'ont pas tous donné à cette unité la même valeur, il en est résulté dans leur langage, et souvent dans leurs transactions, une confusion qui a amené des procès fort difficiles à juger. On peut en voir un exemple dans le tome XII des *Annales des Mines*. Cette incertitude a lieu surtout pour les machines à vapeur, dont la force s'exprime ordinairement en chevaux; car, de tous les termes de comparaison, la force du cheval est une des plus variables; aussi est-elle estimée par

les mécaniciens de bien des manières différentes. On conçoit que rien n'est plus facile que de ramener ces unités les unes aux autres, quand on connaît la valeur de chacune d'elles, mais cela devient impossible quand on ne les a pas définies d'avance.

C'est pour faire cesser cette confusion, et prévenir les discussions auxquelles elle donne lieu, qu'une commission de l'Académie des sciences, composée de MM. de Laplace, Prony, Girard, Ampère et Dupin, a proposé d'adopter, pour unité dynamique légale, un poids équivalent à celui de mille mètres cubes d'eau distillée réduite à sa plus grande densité, ou mille tonneaux de marine, élevés à un mètre de hauteur, dans un jour astronomique. Cette unité s'appelle *dyname*.

Si l'on compte le temps par secondes sexagésimales, le dyname équivaudra à $11^{ki}.574$, ou plus simplement $11^{ki}.60$, élevés à un mètre par seconde.

M. Navier, dans ses notes sur l'Architecture hydraulique de Bélidor, adopte pour unité le kilogramme élevé à un mètre par seconde, et le désigne par la notation $kil \times m$, qu'il place en exposant à la droite de la formule. Cette unité est d'un usage commode dans les constructions hydrauliques, où le volume de l'eau s'estime en mètres ou en décimètres cubes, dont le poids est donné immédiatement en kilogrammes, et où la vitesse de l'eau s'évalue par secondes. Cette considération

m'a déterminé à choisir cette unité, et je m'en servirai habituellement dans ce mémoire. Toutefois, si j'emploie le cheval comme unité dynamique, j'aurai soin d'indiquer, en même temps, combien de kilogrammes élevés à un mètre par seconde répondent à cette unité; par là, on évitera toute confusion.

Division du mémoire.

J'ai divisé mon travail en quatre parties. Dans la première, je discute et je compare les avantages et les inconvéniens des trois moteurs; elle répond à cette partie de la question :

« Discuter l'emploi des principaux moteurs, » tels que manéges, roues hydrauliques et ma- » chines à vapeur, dans les usines de l'artillerie, » suivant les localités et les convenances du ser- » vice. »

Je m'appuie, dans cette discussion, sur les résultats théoriques et pratiques développés dans la deuxième partie.

Celle-ci donne les formules de l'établissement des manéges et des roues hydrauliques, la manière de calculer la force que doit avoir une machine à vapeur, les moyens de transmettre, de modérer et de régulariser le mouvement. Il eût paru peut-être plus naturel de donner dans la première partie les théories et les règles pratiques



pour établir les machines; mais, comme elles se lient avec le second paragraphe de la question, cela eût rejeté trop loin la discussion générale. Cette deuxième partie comprend aussi les formules relatives aux frottemens, et la manière de les calculer.

Dans la troisième partie, j'ai donné les détails de construction et le tracé des parties principales des machines, ainsi que les formules pour en déterminer les dimensions.

Enfin, la quatrième partie traite des applications des principes exposés dans les trois premières. Elle renferme les calculs et les dessins pour l'établissement d'un martinet de raffineur d'acier et d'une scierie circulaire.

PREMIÈRE PARTIE.

DISCUSSION GÉNÉRALE.

Le choix d'un moteur pour l'établissement d'une usine, est toujours subordonné à un ensemble de considérations dont plusieurs sont étrangères aux qualités mécaniques qu'il possède. Cependant, en examinant chacun des trois moteurs indiqués, et en recherchant d'abord ses avantages et ses défauts particuliers, puis en faisant entrer

en discussion les circonstances étrangères à la mécanique, nous pourrons peut-être arriver à une conclusion à peu près générale.

Des manéges. — La construction des manéges est assez simple pour qu'il soit inutile de les décrire. On sait que les barres auxquelles les chevaux sont attelés ne devraient jamais avoir moins de cinq mètres de longueur, afin que l'effort de l'animal n'ait pas une direction trop oblique sur le rayon du cercle qu'il parcourt; mais cette condition exige un grand emplacement, qui dans les villes est souvent difficile à trouver.

Un cheval attelé à un manége exerce une traction qui varie selon la force de l'animal et la durée de son travail. En le supposant de moyenne force, et la durée de six heures par jour, partagée en deux relais, l'effort exercé sera moyennement de 80 kilogrammes, avec une vitesse d'un mètre par seconde.

Cette mesure doit être considérée comme un *maximum*, car s'il y a plusieurs chevaux attelés au manége, ils ne tireront ni tous ensemble, ni avec la même force, et de plus, ce genre de travail les ruinant promptement, leur force se trouvera bientôt au-dessous de l'estimation précédente.

M. Guenyveau, dans son Essai sur la science des machines, n'évalue la quantité d'action journalière totale fournie par un cheval, qu'à 1500

kilogrammes transportés à un kilomètre, ce qui revient à peu près à 70 kil. à 1 mètre par seconde, et ne donne pour l'effet utile produit que 600 kilog. transportés à un kilomètre; d'où il suit, que l'effet produit ne serait que les 0,40 de la force dépensée.

MM. Hachette, Navier et la plupart des auteurs de mécanique, portent ce rapport à 0,50.

Les manéges sont si grossièrement construits, en général, qu'il n'est pas même probable qu'ils utilisent les 0,40 de la force dépensée; mais en supposant qu'on apporte dans cette machine tout le soin possible, elle contient en elle-même des causes de perte de force qui lui sont inhérentes. Les chevaux n'agissent jamais d'une manière continue, et leur effort varie toujours par à-coups plus ou moins brusques, d'où résultent sans cesse des pertes de force vive. Lorsqu'un cheval, qui travaillait mollement, hâte tout à coup sa marche et augmente son effort à la voix du conducteur, les traits des autres chevaux deviennent lâches, et ils sont obligés d'accélérer le pas pour les tendre. Ces inégalités se répètent sans cesse, et d'autant plus souvent qu'il y a plus de chevaux. Ces à-coups se transmettent à l'outil, et il est bien difficile d'y remédier. Nous verrons toutefois qu'on pourrait sans peine appliquer un volant à cette machine; mais il n'en corrigerait pas tout-à-fait les défauts.

Le nombre des chevaux que l'on peut appliquer à cette machine est limité; et il y a peu de manéges où l'on en place plus de huit; encore ce nombre est-il rarement atteint, et la plupart ne sont disposés que pour en recevoir quatre au plus. La raison en est simple et ne tient pas seulement à la difficulté d'en atteler beaucoup. On sait qu'en règle générale, l'effort produit par plusieurs chevaux attelés à un fardeau n'est pas égal à leur nombre multiplié par l'effort d'un seul; et ce résultat est rendu encore plus sensible par les raisons que j'ai exposées plus haut. Il suit de là, que ce genre de moteur ne peut être employé lorsqu'il s'agit d'exercer des efforts puissans.

La nécessité de donner une grande longueur au bras de levier de la puissance, avec une vitesse d'un mètre seulement à l'extrémité, empêche de transmettre une grande vitesse à l'outil, sans diminuer beaucoup l'effort qu'il pourrait exercer; ce qui circonscrit le nombre des applications des manéges.

Un avantage des manéges, c'est de pouvoir être établis partout et à peu de frais; d'être transportables d'un lieu à un autre sans de grandes dépenses; de travailler à volonté, en sorte que dans les momens où la machine ne marche pas, on peut employer la force motrice à d'autres travaux et en d'autres lieux.

Mais, d'un autre côté, le moteur en est dispendieux; car pour un manége de quatre chevaux qui devraient travailler nuit et jour, il faudrait en nourrir seize, puisqu'ils ne peuvent donner plus de six heures de travail; il est vrai qu'on en exige quelquefois davantage, mais c'est aux dépens de leur durée.

En résumant ce qui précède, on voit que les manéges sont simples à construire, qu'ils n'utilisent guère que 0,40 à 0,50 de la force dépensée; qu'ils sont sujets à des inégalités qui ne permettent pas d'en obtenir un mouvement régulier, qu'on ne peut y appliquer une force très-puissante, et qu'enfin la nourriture et l'entretien des chevaux sont des dépenses considérables.

Des roues hydrauliques. — Les roues hydrauliques sont le moyen le plus généralement adopté pour utiliser la force de l'eau, parce qu'elles joignent à une assez grande simplicité de construction, l'avantage de transmettre immédiatement un mouvement circulaire continu, qui est celui dont les arts mécaniques ont le plus souvent besoin.

On sait que le *maximum* d'effet que l'on pourrait obtenir d'un cours d'eau, serait d'élever un poids égal à celui du volume de l'eau dépensée, à une hauteur égale à celle de la chute ou à celle à laquelle est due la vitesse acquise au bas de la chute; mais ce *maximum* est loin d'être

atteint par aucune des machines connues, et l'on peut affirmer d'avance qu'il ne le sera jamais, car il est impossible de concevoir une machine qui ne présente aucune résistance passive.

Dans la pratique, les roues à augets, quand elles sont bien construites, peuvent donner jusqu'à 0,80 de ce maximum, les roues de côté, 0,60, et celles à aubes courbes de M. Poncelet, de 0,50 à 0,60.

Le plus grand avantage des roues hydrauliques est d'utiliser un moteur donné par la nature, et qui par conséquent ne coûte rien; mais, d'un autre côté, son emploi est sujet à des inconvéniens qui lui sont propres. Dans les basses eaux, il arrive souvent que l'on est obligé de suspendre le travail; et pendant l'hiver on est quelquefois arrêté par les glaces.

Le moyen de remédier au premier inconvénient est de construire la roue de manière à utiliser toute l'eau dépensée, et de disposer en avant de l'usine un bassin capable de laisser accumuler les eaux pendant les instans où le travail est interrompu. La capacité de ces bassins doit être calculée d'après la dépense moyenne journalière de l'usine, et d'après le produit du cours d'eau. On doit, autant que possible, augmenter leur profondeur et restreindre leur surface, pour diminuer les effets de l'évaporation, dont l'on devra tenir compte, si l'on veut régler l'approvisionnement

de l'eau. Si l'usage des bassins ou étangs est utile dans beaucoup de circonstances, il est indispensable pour les usines qui travaillent par intermittence, telles que les forges, les martinets, etc., etc. En effet, dans le travail des forges, il y a des momens où l'ouvrier donne à la roue une vitesse considérable, et dépense beaucoup d'eau; dans d'autres, le travail est plus lent, et parfois il est totalement suspendu. On conçoit donc qu'il est de la plus grande importance, dans ce cas, d'avoir un réservoir où la force motrice s'accumule pour le moment où l'on en a besoin. Cela permet de faire marcher l'usine avec un cours d'eau dont le produit régulier est beaucoup plus faible que la dépense qui se fait à certains momens.

Un moyen facile d'éviter les chômages provenant des basses eaux, serait de calculer les dimensions de la machine pour le cas où la force motrice est la plus petite possible; mais on se priverait alors de la faculté d'employer la force surabondante dans les grandes et moyennes eaux. Il est plus sage d'établir son usine d'après les eaux moyennes, et de se résoudre à des chômages momentanés quand elles seront trop basses. Lorsque ces interruptions dans le travail ont de trop graves inconvéniens, comme dans les établissemens très-vastes, on y remédie par l'emploi d'une machine à vapeur, qui marche simultané-

ment avec la roue hydraulique, et qui est en communication avec elle, de manière qu'elles se règlent l'une par l'autre. Ce moyen est employé avec succès dans plusieurs fabriques du Haut-Rhin.

Les inconvéniens de la gelée se font rarement sentir, et il est même facile de les prévenir. Voici les moyens en usage. On renferme la roue dans une cage en maçonnerie bien fermée et couverte. On établit un pont de madriers sur la tête d'eau jusqu'à 3 ou 4 mètres, et peu élevé au-dessus du niveau; en aval, on ferme l'ouverture de la cage de roue destinée à l'écoulement de l'eau, par des volets ou madriers qui affleurent la surface; on a soin de fermer aussi bien que possible les trous par où passe l'arbre. Lorsqu'il fait froid, et que l'on craint que le canal ne gèle, on couvre le pont d'amont avec du fumier, et, au moyen de fourneaux placés dans la cage de roue, on empêche la glace de se former dans l'intérieur. Dans les usines à feu, rien n'est plus facile que de chauffer la cage de roue : il suffit de quelques tuyaux qui passent sous les foyers, et conduisent sur la roue un courant continuel d'air chaud.

Lorsqu'une roue hydraulique est établie sur un cours d'eau sujet à des crues extraordinaires, et dont la pente n'est pas très-rapide, elle est sujette à être noyée par les arrières-eaux et à être arrêtée. Cet inconvénient se fait sentir dans les

pays de plaine, voisins des montagnes, où l'on utilise les petites chutes avec un volume d'eau considérable. Le moyen d'y remédier est de disposer la roue de manière à ce qu'on puisse la relever, tout en conservant aux engrenages et aux transmissions de mouvement, leur précision et leur régularité.

Les dimensions des roues hydrauliques peuvent varier entre des limites très-étendues, ce qui permet d'utiliser les cours d'eau les plus puissans comme les plus faibles. Cependant, quand la chute est très-considérable et que le cours d'eau est faible, on ne peut pas toujours en tirer tout le parti possible, parce qu'il est difficile d'exécuter avec précision des roues, dont le diamètre excède 12 mètres. Ce cas se présente assez souvent dans les mines. On a alors recours aux machines à colonne d'eau, qui utilisent, comme on sait, une très-grande partie de la force dépensée.

En résumé, on voit que les roues hydrauliques peuvent transmettre 0,60 ou 0,80 de la force dépensée; que cette force, fournie par la nature, ne coûte que les frais nécessaires pour l'amener sur la roue; que l'on peut remédier en partie aux variations de la puissance, mais qu'elles ont l'inconvénient d'obliger à établir l'usine en un lieu déterminé.

Des machines à vapeur. — De tous les moteurs connus, le plus généralement applicable en tous

lieux comme à tous les genres d'industrie, c'est la machine à vapeur. Depuis la force d'un ou deux chevaux jusqu'à celle de cent et cent vingt, elle ne rencontre pas d'obstacle qu'elle ne puisse vaincre.

Ce n'est pas ici le lieu d'entrer dans des détails sur l'invention et les perfectionnemens de ce genre de moteurs. On sait qu'avant Newcommen les recherches des savans et des artistes n'avaient amené que des résultats plus curieux qu'utiles, sans en excepter la machine de Savery. Le système dû à ce forgeron, qu'une heureuse inspiration rendit mécanicien, offrait des défauts, malgré sa simplicité, et le plus grave était la consommation considérable de charbon qu'il occasionait.

Plus tard, Watt, qui réunissait les connaissances d'un savant à l'esprit observateur et à l'adresse d'un artiste, imagina le système qui porte son nom, et qui, après les perfectionnemens qu'il a successivement reçus de son auteur, est encore le plus généralement employé. Depuis Watt, plusieurs mécaniciens se sont disputé l'invention des machines dites à moyenne et à haute pression, qui emploient la vapeur dans un degré de tension égal à plusieurs atmosphères, et profitent de sa force expansive.

Si l'on considère l'effet utile des machines à vapeur, comme produit par la force engendrée

dans la combustion du charbon, ces sortes de machines sont loin d'en utiliser une portion aussi considérable que les moteurs précédens, et l'on peut affirmer, sans crainte d'erreur, que les deux tiers de la force produite par la combustion sont perdus par différentes causes.

D'abord, la construction des fours et des chaudières, quelque soignée qu'elle soit, ne permet pas de produire la quantité de vapeur qui serait due à la chaleur développée; ainsi M. Dupin rapporte que le système des fourneaux et des chaudières de Watt ne produit pas la moitié de la vapeur qui devrait résulter de la combustion du charbon employé; si à cela l'on joint les causes propres à la machine, telles que les frottemens, l'inertie, etc., etc., on ne sera plus étonné de voir les deux tiers de la force développée, perdus sans utilité.

Malgré cet inconvénient, que plusieurs constructeurs sont parvenus à diminuer, les machines à vapeur sont regardées, à juste titre, comme le moteur le plus puissant dont l'industrie puisse disposer.

Un des grands avantages d'une bonne machine à vapeur, c'est de donner, dans tous les instans et dans toutes les saisons, la même force motrice. Cette régularité, et la facilité de donner à la machine la force que l'on veut, sont d'une telle importance, qu'elles ont déterminé souvent des industriels à employer des machines à vapeur,

de préférence à l'eau, dans des lieux où ce dernier moteur était assez abondant.

Dans les grands établissemens d'industrie, afin de ne pas perdre la quantité de chaleur accumulée dans le fourneau et dans les différentes parties de la machine, on travaille jour et nuit.

L'objection la plus grave que l'on puisse faire contre l'emploi de ces machines, repose sur les grands frais d'établissement, et sur la dépense de combustible, qui est d'environ 108 kilogr. en vingt-quatre heures par force de cheval, pour les machines de Watt à double effet, et de 72 kilogr. environ, dans celles de Woolf ou à moyenne pression.

L'on voit, en résumé, que les machines à vapeur sont un moteur applicable en tous lieux et à tous les travaux de l'industrie, et capable de produire le plus grand effort comme le plus petit; qu'elles donnent un mouvement susceptible d'une grande régularité; mais que les frais d'établissement, ainsi que la dépense du combustible sont considérables.

Conclusion générale. — En rapprochant les résultats de l'examen général des trois moteurs en question, nous voyons que, sous aucun rapport, les manéges ne peuvent soutenir la comparaison avec les machines à vapeur, toutes les fois que les travaux exigent une force considérable et de la régularité; que, dans les grands travaux, ils sont

inapplicables; que l'économie des frais d'établissement sera plus que compensée par la consommation des chevaux et par la dépense de leur nourriture, toutes les fois que la houille ne sera pas d'un prix trop élevé comparativement à celui des fourrages. Qu'à plus forte raison doit-on préférer les roues hydrauliques aux manéges, toutes les fois qu'on pourra disposer d'un cours d'eau, et que le travail ne devra pas être exécuté dans un lieu déterminé, où l'on serait privé de ce moteur. Enfin que l'économie d'établissement, et surtout celle qu'il y a d'utiliser un moteur que la nature renouvelle elle-même, devront faire préférer les roues hydrauliques aux machines à vapeur, toutes les fois qu'aucune circonstance locale ne s'y opposera, qu'il ne sera pas indispensable d'obtenir dans tous les temps de l'année une force exactement la même, et que des suspensions momentanées dans les travaux n'auront pas de trop grands inconvéniens.

Application aux usines de l'artillerie. — Voyons comment ces conclusions générales s'appliquent aux usines de l'artillerie. Sans entrer dans aucun détail sur la nature des travaux qui s'y exécutent, on peut les partager en deux classes; celles qui peuvent ou doivent être établies hors des villes, et celles qui doivent l'être dans des places fortes.

Pour les premières, la question est résolue, et

la facilité de les construire à peu près où l'on veut, nous déterminera à y employer de préférence les roues hydrauliques; quant à la deuxième classe, nous donnerons encore la préférence aux roues hydrauliques, et, à défaut de cours d'eau, nous emploierons les machines à vapeur plutôt que les manéges.

S'il était nécessaire d'appuyer cette manière générale de considérer la question, d'un aperçu sur chaque genre d'usine qu'emploie l'artillerie, nous y trouverions la confirmation de la conclusion que nous avons tirée.

En effet, les établissemens de l'artillerie sont :

Les manufactures d'armes,
Les poudreries,
Les arsenaux,
Les fonderies.

Dans les premières, placées hors des villes, les usines sont des martinets, des aiguiseries, des tours et des laminoirs. Dans toutes ces usines les fréquentes interruptions du travail, les variations de la résistance devraient seules faire préférer l'emploi des roues hydrauliques, dont la marche est si facile à régler, à accélérer ou à retarder, sans craindre aucun des inconvéniens de la machine à vapeur. L'économie dans les dépense s'ajoute à ce motif de préférence.

Dans les poudreries, il est de la plus grande

importance d'éloigner toutes les chances d'incendie; par ce motif seul, les machines à vapeur doivent en être proscrites.

Dans les arsenaux il y a peu d'usines; cependant on y construit quelquefois, et il serait à désirer qu'on y eut toujours des martinets, des scieries et même des machines soufflantes. Toutes choses égales d'ailleurs, il est évident que l'on devra employer l'eau, de préférence aux autres moteurs, et qu'à défaut d'eau, la facilité et l'économie qu'on trouverait à chauffer les chaudières avec les chutes de bois qui proviennent des constructions, devrait faire préférer les machines à vapeur aux manéges. La faculté d'employer pour ce dernier moteur les chevaux du train pourrait être mise en balance avec les avantages d'économie et de régularité qu'offre la machine à vapeur; mais on sait qu'en temps de paix, les escadrons du train n'ont en chevaux que le strict nécessaire, et que dans les grandes écoles ils peuvent à peine suffire aux besoins du service, pendant le semestre d'été; or, un manége de quatre chevaux, ne marchant que douze heures par jour, en emploie huit. De bons chevaux sont ruinés en peu de temps, et qu'ils soient à l'établissement ou à un escadron du train, c'est toujours l'artillerie qui les paie. On emploie, je le sais, dans ce cas, des chevaux douteux; c'est le bon moyen pour qu'ils cessent de l'être; mais outre qu'on

n'en tire pas un très-bon service, ces chevaux, s'ils avaient été ménagés, se seraient peut-être rétablis. En définitive, comme les chevaux du train sont rarement à rien faire, qu'ils ont plutôt trop de travail que trop peu, il n'y en a jamais d'inutiles.

Pour les fonderies, il faut joindre aux motifs précédens en faveur des machines à vapeur, la grande précision qu'on doit chercher à atteindre dans toutes les opérations de ces usines.

DEUXIÈME PARTIE.

De la discussion qui précède, passons à la recherche des formules et des règles théoriques et pratiques, relatives à l'établissement des trois moteurs proposés : nous y trouverons la confirmation des résultats énoncés plus haut, ainsi que la marche à suivre pour déterminer et tracer toutes les parties des machines.

Établissemens des manéges. — Sans entrer dans le détail assez connu de la construction des manéges, nous allons nous occuper de chercher les formules qui peuvent servir à en déterminer les circonstances principales.

Fig. 1re., *Pl.* I. Soit $AC = r$ le rayon du cercle

décrit par le crochet d'attelage, $AB=C$ la longueur d'un cheval dans ses traits, c'est-à-dire la distance du crochet d'attelage à sa tête; c'est une corde inscrite dans le cercle AC; $ACB=2\ a$ l'angle sous-tendu par cette corde.

J'appellerai T la traction que le cheval exerce dans le sens de cette corde. Cette force se décompose en deux autres; l'une, $T\cos.\ BAC = T\sin.\ a$, qui produit une pression horizontale sur l'arbre; l'autre $T\cos.\ BAD=T\cos.\ a$, tangente au cercle, qui produira seule le mouvement; si donc v est la vitesse du cheval dans le sens de la circonférence, ou plutôt celle du crochet d'attelage, la quantité de mouvement transmise par la machine sera $Tv\cos.\ a$.

P étant la résistance, et V la vitesse que doit prendre son point d'application, la quantité de mouvement qu'elle imprimera sera PV, et si r' est son rayon, lorsque la machine sera parvenue à l'uniformité de mouvement, on aura pour un nombre n de chevaux l'équation

$$n\,T\,v\,r\cos.\ a = PVr';$$

ou en observant que

$$r\cos.\ a = CO = \sqrt{r^2-\left(\tfrac{c}{2}\right)^2}$$

$$n\,T\,v\sqrt{r^2-\left(\tfrac{c}{2}\right)^2}\,PVr'$$

dans laquelle on voit que le moment de la puissance sera d'autant plus grand, que C sera plus petit et r plus grand.

Examinons les différentes quantités qui entrent dans chaque membre de cette équation.

La vitesse v des chevaux est à peu près donnée, c'est-à-dire qu'elle ne peut varier qu'entre certaines limites. Ordinairement dans la pratique $v=1^m,00$ ou $0^m,80$. Il y a, il est vrai, des manéges où l'on fait trotter les chevaux, mais il est reconnu que cela est très-désavantageux. Guenyveau, en comparant l'action journalière des chevaux de rouliers qui vont au pas, à celle des chevaux de diligences, qui vont au trot, a trouvé que ces deux quantités étaient dans le rapport de 5 à 3, et il est plus que probable que, dans les manéges, ce rapport deviendrait plus grand; parce que la gêne que l'animal éprouve par suite de la courbure de la ligne qu'il est forcé de décrire, doit être d'autant plus grande, qu'il est obligé de s'y soumettre plus promptement. Des expériences que je rapporterai plus loin, confirment cette observation.

On devra donc regarder la vitesse v comme à peu près constante, entre les limites indiquées ci-dessus.

La longueur C peut être diminuée de beaucoup en employant l'attelage à cou de cygne. Les crochets sont alors à peu près vers le milieu du

corps de l'animal, il se trouve plus libre dans ses mouvemens, et C n'est plus que la corde soustendue par la moitié de la longueur du cheval, sur la circonférence décrite par le milieu du cou de cygne.

Quant au rayon r, il n'a de limites théoriques que o et ∞; mais, outre l'inconvénient d'exiger, quand on le fait très-grand, un emplacement considérable, il a encore celui d'offrir des difficultés pour obtenir la vitesse nécessaire au travail de l'outil. On se renferme dans la pratique entre 5 et 7 mètres.

Si l'effort de traction des chevaux attelés au manége était uniforme et simultané, on obtiendrait la valeur de n, en remplaçant Tv par 80 kil. m. et en introduisant dans PV une certaine force, pour représenter les résistances passives; mais il n'en est pas ainsi dans la pratique, il faut modifier la formule par des coefficiens numériques.

Gueyniveau n'admet pour rapport de l'effet utile à la force dépensée que $\frac{2}{5}$; d'après l'examen de plusieurs manéges, fait par M. Hachette, ce rapport s'élèverait à $\frac{1}{2}$; M. Navier estime que l'effet journalier du cheval appliqué au manége, est de 40 kil$\times$m. par seconde, ce qui revient à la deuxième estimation.

On sait de plus que les chevaux ne peuvent travailler au manége plus de six à huit heures, et

que par conséquent, pour le faire marcher continuellement, il faut quadrupler ou tripler le nombre des chevaux employés ensemble.

Afin de vérifier ces résultats et de me rendre compte de la force transmise par les manéges de la fonderie de Strasbourg, qui me paraissaient mal construits, j'ai entrepris sur celui qui sert à forer et à tourner les pièces de 12 de siége, des expériences, dans lesquelles M. le capitaine Fabian a eu la complaisance de m'aider.

Voici les données locales relatives à ces expériences.

Le rayon du manége, depuis le centre de l'arbre jusqu'au crochet d'attelage, est de 2^m, 91. Il résulte de cette dimension que la direction du tirage est à peu près de 45° sur le bras de levier. La formule indique que déjà par cette cause, il y a la moitié de la force de perdue.

Une pièce de 12 de siége, déjà forée, était montée sur le banc, et servait de treuil, sur lequel s'enroulait un cordage, qui passait sur deux poulies fixées à la charpente supérieure, et à l'extrémité duquel était suspendue un plateau de balance chargé de poids. On mesurait chaque fois l'espace parcouru par le plateau et par les chevaux, et comme le rouet de l'arbre portait 80 dents, et que la lanterne sur l'axe de laquelle la pièce était montée en avait 30, les nombres de tours étaient respectivement comme 1 : 2, 66.

Le rayon de la pièce était 0^m, 14 à la volée, celui du cordage 0^m, 02, en tout 0^m, 16 pour celui du treuil. On pouvait donc vérifier les espaces parcourus par le plateau et par les chevaux ; ce qui a été fait pour chaque série d'expériences.

Le tableau suivant offre les résultats moyens de quatorze séries d'expériences, chaque série en comprenant plusieurs.

Résultats des expériences faites sur le manége des pièces de 12 de siége de la fonderie de Strasbourg, le 21 et le 25 avril 1827.

Numéros des séries d'expériences.	Temps employé.	Vitesse des chevaux par seconde.	Traction moyenne.	Nombre de chevaux.	Quantité de mouvement dépensée.	Poids élevé.	Hauteur.	Vitesse par seconde.	Effet utile.	Rapport de l'effet utile à la force dépensée.
		m. c.	kil.		kil. m.	kil.	m.		kil. m.	
1re.	26″	1,31	187,5	1	245	179	5,14	0,197	35,25	0,143
2e.	24	1,42	165	1	234	129	5,14	0,208	26,83	0,11
3e.	26	1.31	137,5	1	180	79	5.14	0,196	15,50	0,086
4e.	27	1,28	126,6	1	162	29	5,14	0,19	5,51	0,033
5e.	30	1,19	100	1	119	0	0	0	0	0
6e.	33	1,03	136,5	2	281,2	329	5,16	0,156	51,30	0,18
7e.	33	1,03	90	2	185,4	279	5,16	0,156	43,52	0,23
8e.	28,2	1,20	86,6	3	259,8	429	5,16	0,182	78	0,30
9e.	28,2	1,20	98	3	294	479	5,16	0,182	87,18	0,296
10e.	15,5	1,01	292	4	1179	1254	5,23	0,326	428,8	0,36
11e.	30	1,23	220	4	1082	1254	5,50	0,18	225,7	0,20
12e.	23,6	1,53	234	4	1432	754	5,50	0.23	173,40	0,12
13e.	23,6	1,50	148,6	4	927	554	5,50	0,23	127,40	0,13
14e.	26,7	1,36	101	4	549	362	5,50	0,20	73,50	0,13

Nota. Je me suis servi pour ces expériences du dynamomètre de Régnier, et pour être sûr du résultat, je l'ai vérifié depuis 0 k. jusqu'à 650 kil. Je l'ai trouvé fort exact.



Les quatre premières séries, relatives à l'emploi d'un seul cheval, présentent des tractions plus fortes qu'on ne pourrait les obtenir dans un travail habituel. La cinquième série montre que les frottemens et autres résistances passives de la machine consomment seuls 119 kil×m., c'est-à-dire plus que la force d'un cheval.

En joignant ce résultat à l'observation que j'ai faite plus haut sur l'inclinaison du tirage, par suite de laquelle la moitié de la force est perdue, cherchons dans quelle proportion on pouvait espérer de trouver l'effet utile, et la force dépensée dans ce manége.

Si on y emploie quatre chevaux, il y a $\frac{1}{4}$ ou 0,25 de cette force dépensée en frottemens, etc, etc., et la moitié des trois autres quarts perdue par l'obliquité du tirage; l'effet utile ne peut donc être au plus que $\frac{3}{8}$ ou 0,375 de la force dépensée.

Avec trois chevaux, il y a $\frac{1}{3}$ à retrancher pour frottemens, etc., etc., l'effet utile ne pouvant être au plus que la moitié du reste, son *maximum* sera $\frac{1}{3}$ ou 0,33 de la force dépensée.

On trouverait de même qu'avec deux chevaux on ne peut espérer que 0,25 de la dépense.

Remarquons aussi, d'une part, que la vitesse et la traction les plus convenables pour un travail continu dans les manéges sont respectivement de 0^m,80 à 1^m,00 et de 100 à 80 kilo., mais que,

d'un autre côté, avec ces efforts modérés, les chevaux ne travaillent pas ensemble, parce que dès que l'un donne un à-coup, il rend les traits des autres lâches, et que ceux-ci en reprenant produisent le même effet; de sorte que sur quatre chevaux, par exemple, on ne peut guère compter qu'il y en ait plus de trois qui tirent ensemble à chaque instant.

En examinant le tableau des expériences, on y trouvera la confirmation de ces prévisions.

En effet, les sixièmes et septièmes séries ont été observées sur le travail de deux chevaux; dans la sixième, l'effort était de 136 kil. 50, c'est-à-dire, trop grand pour un travail réglé, et la vitesse était de 1^{m}, 03. Le rapport de l'effet utile à la dépense est seulement 0,18. Dans la septième, la traction n'était que de 90 kil. et la vitesse de 1^{m}, ce qui se rapproche beaucoup des limites pratiques; on a trouvé pour le même rapport 0,23, au lieu de 0,25 qu'indiquait le raisonnement.

Les huitièmes et neuvièmes séries sont relatives au travail de trois chevaux; les tractions de 86,6 kil. et 98 kil. sont dans les bonnes limites, et les vitesses de 1^{m} 20 sont un peu trop fortes. L'effet utile a été 0,30 et 0,296 de la dépense, ce qui se rapproche assez de 0,33, limite théorique.

Afin d'obtenir un effet régulier, on avait eu la précaution de faire marcher les chevaux aussi

également que possible; on ne pourrait pas se flatter d'obtenir toujours aussi bien ce résultat dans la pratique.

Les 10e., 11e., 12e., 13e. et 14e. séries donnent les résultats du travail de quatre chevaux. Dans la dixième, qui est la moyenne de dix expériences faites avec soin, et où les chevaux étaient obligés de faire un grand effort, et par suite d'agir tous ensemble, le rapport de l'effet utile à la force dépensée s'est élevé à 0,36; ce qui égale presque le rapport théorique 0,375.

Dans la onzième, la vitesse était trop forte et égale à 1^{m},23; le rapport n'est plus que 0,20. Enfin dans les trois dernières séries, la vitesse a encore augmenté et les tractions étant assez fortes, le rapport a diminué, par suite de l'inégalité de l'effort des chevaux.

On voit donc que le rapport de l'effet utile, qui théoriquement augmenterait avec le nombre des chevaux, va plutôt en diminuant au delà de trois, à cause des à-coups et des arrêts qui sont, pour ainsi dire, inévitables, et d'autant plus que la vitesse est plus grande et l'effort plus petit.

La construction vicieuse de ce manége contribue beaucoup à ces résultats. L'obliquité de la marche des chevaux, outre la décomposition de force qui en résulte, est un obstacle qui les empêche de reprendre leur action sans secousse, dès que leurs traits sont lâches.

Pour appliquer la formule théorique à ce manége, faisons $\cos. a = \cos. 45^\circ = \frac{1}{2}$, remplaçons n par $n-1$, puisque les frottemens et autres résistances passives consomment au moins la force d'un cheval, ce qui serait à peu près de même pour tous les manéges de fonderies et serait même trop faible pour les pièces de 16 et de 24. On aura, en mettant aussi pour T sa valeur moyenne 80 kil. et en faisant $v = 1^m$.

$$\frac{80(n-1)r}{2} = PVr', \text{ d'où}$$

$$n = 1 + \frac{PVr'}{40r}.$$

Mais s'il s'agissait de construire un nouveau manége pour une fonderie, comme on lui donnerait des dimensions plus favorables pour le travail, que les engrenages et toutes les parties en seraient mieux exécutés, on pourrait obtenir un résultat plus avantageux, et, en admettant toujours que les résistances passives consomment la force d'un cheval, on aurait, pour déterminer le nombre de chevaux à y appliquer, la formule,

$$n = 1 + \frac{PVr'}{80\sqrt{r^2 - \frac{c^2}{4}}}$$

en supposant toujours $T = 80$ kil. et $v = 1^m$.

Remarquons toutefois que, par les raisons que j'ai dites plus haut, l'exactitude de cette formule

diminuera, à mesure que le nombre de chevaux augmentera.

Pour les applications à la pratique, le rayon r' sera facile à déterminer, car le cas le plus défavorable est celui où l'on fore la pièce en même temps qu'on la tourne à la culasse. On prendra une moyenne entre le calibre et le diamètre de la plate-bande de culasse, et l'on aura le rayon moyen de la plus grande résistance, en divisant cette moyenne par deux.

Il ne s'agirait plus pour pouvoir établir le manége, que de trouver les différentes valeurs de P, selon les calibres et les époques du travail; car la vitesse V est déterminée par la condition que la pièce ne fasse que huit à dix tours par minute, pour éviter l'échauffement des forets.

La formule

$$\frac{80\,(n-1)\,r}{2} = PVr'$$

propre au manége des pièces de 12 de la fonderie de Strasbourg, pourra servir à déterminer les valeurs de P par des expériences suivies; on en tirera $P = \frac{40\,(n-1)\,r\,\text{kil.}}{Vr'}$ équation dans laquelle n, r, V et r' sont connus ou donnés par l'expérience. On formera alors une table de toutes les valeurs de P relatives aux différentes époques du travail, selon chaque calibre. On aura par con-

séquent le nombre de kilogrammes élevés à 1^m par seconde qui correspond à PV, et si l'on veut établir un autre manége, une roue hydraulique ou une machine à vapeur pour faire le même travail, on introduira cette valeur dans les formules pratiques, d'où l'on tirera le nombre de chevaux, la quantité d'eau ou la force de la machine à vapeur à employer.

Dans la plupart des manéges le rouet fixé sur l'arbre, soit en dessus, soit en dessous des bras, est ordinairement en bois, avec des dents en bois, placées verticalement, qui engrènent avec les fuseaux d'une lanterne. Ce mode d'engrenage est vicieux et doit être remplacé par des roues d'angles à épicycloïde sphérique; j'en indiquerai le tracé dans les détails de construction. L'adoption de ces engrenages rendra les mouvemens plus doux et contribuera à la régularité de la machine.

En parlant des manéges dans la discussion générale, j'ai dit qu'on n'y employait pas ordinairement les volans, qui cependant y seraient d'une grande utilité pour corriger les à-coups de la force motrice. Cela tient à ce qu'il paraît d'abord assez difficile de les y appliquer. On sait, en effet, que les volans doivent être placés sur l'axe qui prend la plus grande vitesse de rotation; ce serait donc sur celui de la lanterne ou du pignon. Tant que le manége marcherait, l'action régula-

trice du volant se ferait sentir et détruirait l'effet des inégalités du moteur ; mais on sait qu'on fait arrêter ou marcher les chevaux d'un manége au moyen d'une clochette à laquelle ils obéissent très-promptement, surtout quand il s'agit de s'arrêter. Il arriverait alors que les chevaux cessant tout à coup de marcher, tandis que le volant, par son inertie prolongerait le mouvement, il pourrait en résulter pour ces animaux un contre-coup dangereux. Cependant, on peut remédier à cet inconvénient ; en voici un moyen bien simple. Il suffit de monter le volant sur un arbre de couche accouplé par un manchon avec celui de la lanterne ou du pignon, et communiquant directement, ou par d'autres organes, avec la résistance. La sonnette serait attachée au levier qui ferait marcher le manchon, de manière que les deux arbres seraient séparés en même temps que les chevaux s'arrêteraient ; ainsi le volant se trouvant isolé, n'influerait plus sur le mouvement du moteur.

Quant aux modérateurs, ce n'est pas ici le cas de les employer, parce qu'il n'y a pas d'accélération dangereuse à craindre de la part des chevaux que l'on emploie dans les manéges.

Établissement des roues hydrauliques. — Lorsqu'on se propose d'établir une roue hydraulique, ou d'estimer la force dépensée par une usine en activité, il est indispensable de connaî-

tre le volume d'eau fourni par le courant, dans un temps donné, et par suite la quantité de mouvement qu'il acquiert en tombant de la hauteur de la chute.

Le moyen le plus simple et le plus sûr, est de recevoir tout le produit du cours d'eau dans un bassin jaugé d'avance, et d'observer le temps qu'il faut pour le remplir; mais ce procédé n'est applicable qu'à de faibles ruisseaux, et encore faut-il que les localités ne s'y opposent pas; d'ailleurs il arrive souvent qu'on veut profiter d'une vanne ou d'un déversoir déjà existant pour faire l'expérience; et comme il sera nécessaire de connaître les quantités d'eau fournies par ces sortes d'orifices, pour régler le mouvement des vannes, nous allons nous occuper de cette importante question.

Jaugeage du cours d'eau. — Les circonstances physiques de l'écoulement de l'eau, sont en général assez connues, et d'ailleurs décrites par tant d'auteurs, que je m'abstiendrai d'en parler. On sait que la veine fluide éprouve toujours une contraction plus ou moins grande, qui diminue beaucoup le produit indiqué par la théorie. Le but que je me propose est de rechercher quelles sont les modifications à faire subir aux formules théoriques, pour les rendre d'un usage utile dans la pratique.

Supposons d'abord qu'il s'agisse d'un déversoir

sur lequel passe une lame d'eau d'une épaisseur donnée.

M. Navier, en appliquant à cette question le principe de la moindre action et faisant abstraction de la contraction, a donné dans ses notes sur l'Architecture hydraulique de Bélidor la formule suivante :

$$Q = 2,5261 . l . h^{\frac{3}{2}}.$$

dans laquelle Q est un nombre de mètres cubes, l la longueur de l'orifice, et h la hauteur du niveau de l'eau du réservoir au-dessus du déversoir, prise à une certaine distance en amont; l et h sont des mètres.

Le même auteur trouve aussi que, par l'effet de la pression due à la hauteur h, l'épaisseur de la lame d'eau qui passe sur le déversoir, ne doit être théoriquement que $0,7247\ h$.

Il compare ensuite sa formule avec les résultats que Dubuat a obtenus par l'expérience, et qui réduisent le produit Q à $1,8614 . l . h^{\frac{3}{2}}$, dans le cas où il y a contraction sur le fond et sur les côtés, et à $1,9117 . l . h^{\frac{3}{2}}$ dans celui où il n'y a contraction que sur les côtés.

Dans ses expériences, Dubuat a supposé que l'épaisseur de la lame n'était que la moitié de h, et M. Navier observe avec raison que ce rapport doit être trop faible. Il serait à désirer que des

expériences directes fussent faites pour s'assurer du rapport véritable qui existe entre ces deux quantités.

Avant de connaître le travail assez peu répandu de M. Navier sur l'Architecture hydraulique de Bélidor, je m'étais occupé de chercher par l'expérience une formule pratique, pour représenter le produit de l'écoulement sur un déversoir. Voici la marche que j'avais suivie :

En appelant toujours h la hauteur du niveau de l'eau au-dessus du sommet du déversoir, on sait que la vitesse d'écoulement est une fonction de $\sqrt{h}$; le produit Q est égal à cette vitesse moyenne, multipliée par la surface lh; on pourra donc faire

$$Q = C.\ l.\ h^{\frac{3}{2}};$$

formule dans laquelle C est un coefficient numérique constant, à déterminer par expérience.

M. Christian, dans son *Traité de mécanique industrielle*, donne le résultat de ses expériences sur l'écoulement de l'eau par dessus un déversoir; il a opéré sur des lames dont l'épaisseur variait de $0^m,01$, à $0^m,08$.

Je possède aussi des expériences faites avec soin par un artiste distingué qui a reçu les quantités d'eau écoulées dans une capacité cubée d'avance; elles ont été faites sur des épaisseurs variables depuis 0^m, 085 jusqu'à 0^m, 405; cette

épaisseur étant toujours la distance verticale du niveau du bassin au sommet du déversoir.

En introduisant successivement dans la formule

$$Q = C.\,l.\,h.^{\frac{3}{2}},$$

les valeurs numériques relatives à chaque expérience, j'ai déterminé les valeurs correspondantes de C, et j'ai formé les tableaux suivans :

Expériences de M. Christian.

Épaisseur de la lame d'eau.	Longueur du déversoir.	Produit par secondes.	Valeur de C.
m.	m.	m. c.	
0,01	0,80	0,001274	1,50
0,02	0,80	0,003846	1,69
0,03	0,80	0,007258	1,76
0,04	0,80	0,011538	1,75
0,05	0,80	0,016666	1,86
0,06	0,80	0,022500	1,95
0,07	0,80	0,028125	1,92
0,08	0,80	0,034615	1,93

Autres expériences.

Épaisseur de la lame d'eau.	Longueur du déversoir.	Produit par seconde.	Valeur de C.
m.	m.	m. c.	
0,085	0,32	0,018200	2,30
0,114	0,32	0,025080	2,14
0,142	0,32	0,032510	1,95
0,160	0,32	0,039950	1,97
0,302	0,32	0,103800	1,80
0,310	0,32	0,109500	2,04
0,320	0,32	0,115260	2,00
0,380	0,32	0,151210	2,03
0,405	0,32	0,172000	2,10

Remarquons, avant d'aller plus loin, que le second tableau donne des valeurs de C, plus fortes que le premier, ce qui tient sans doute à ce que, les épaisseurs de la lame d'eau étant plus grandes, l'effet de la contraction y est proportionnellement moins sensible, et peut-être aussi à ce qu'on a pris des précautions pour la diminuer.

La moyenne de toutes les valeurs de C, fournies par les deux tableaux, serait $C=1,90$. Toutefois, en remarquant qu'il n'y a que les épaisseurs de $0^m,01$ à $0^m,05$ qui donne une valeur plus faible, on pourra sans crainte prendre

$$C = 1,95.$$

L'expression du volume d'eau qui passera sur le déversoir dans une seconde, sera donc

$$Q = 1{,}95 . l . h^{\frac{3}{2}} \text{ (1)}.$$

Valeur qui correspond à 0,77 de la dépense théorique, et qui est comprise entre celle-ci et les résultats de Dubuat.

Il sera facile de déduire de cette formule la valeur de la vitesse moyenne de la lame d'eau ; on aura,

$$V = \frac{Q}{lh} = 1{,}95 \sqrt{h}.$$

Passons maintenant au cas où l'eau s'écoule en-dessous d'une vanne. Soit H la hauteur du niveau d'amont au-dessus du seuil de la vanne ou de la base inférieure de l'orifice, h la hauteur de ce même niveau au-dessus de la base supérieure de l'orifice, l la longueur de la vanne. L'expression théorique du volume d'eau écoulé en une seconde, sera en mètres cubes,

$$Q = \tfrac{2}{3} \sqrt{2g}\, l \left\{ H^{\frac{3}{2}} - h^{\frac{3}{2}} \right\}$$

(*Architeccture hydraulique de Bélidor, notes de*

---

(1) Ce résultat s'accorde avec celui que vient de donner, depuis la rédaction de ce mémoire, M. Bidonne, (Mémoires de l'Académie de Turin) et qui est $Q = 1{,}78\, l z^{\frac{3}{2}}$ où z représente la différence de niveau du bassin supérieur et du sommet du déversoir. En effet l'épaisseur h de la lame d'eau n'est, d'après les expériences du même auteur, que 0,9 de z; de sorte qu'en substituant à h sa valeur 0,91 z, notre formule devient $Q = 1{,}75\, l z^{\frac{3}{2}}$.

M. Navier, page 298), ou en mettant pour g sa valeur $9^m,8088$,

$$Q = 2,952\, l.\, (H^{\frac{3}{2}} - h^{\frac{3}{2}}).$$

Dans le cas présent, les effets de la contraction sont encore beaucoup plus sensibles que dans le précédent, et la plupart des vannes sont disposées d'une manière si défavorable, que M. Guenyveau, dans son *Essai sur la science des machines*, réduit le produit théorique de moitié, et donne pour formule pratique :

$$Q = 1,497\, l.\, (H^{\frac{3}{2}} - h^{\frac{3}{2}}).\ (1).$$

Cependant il paraît que ce résultat est trop faible ; car il suit des calculs et des expériences de Borda, confirmés par les expériences de Venturi, que le rapport de la dépense théorique à la dépense effective est toujours compris entre 1 et 2.

D'après les expériences de Bossut et celles de Mariotte, il paraît que l'on peut prendre pour rapport moyen 0,65, ce qui donne pour la pratique,

$$Q = 1,91\, l.\, (H^{\frac{3}{2}} - h^{\frac{3}{2}}).$$

Lorsque l'on a la précaution d'évaser l'orifice

---

(1) Il y a ici une faute de calcul dans Guenyveau : le coefficient serait 1,83 au lieu de 1,497.

vers l'intérieur, la contraction latérale diminue beaucoup et la dépense effective se rapproche de la dépense théorique ; leur rapport est alors 0,75, d'après MM. Navier et Poncelet ; on pourra donc prendre alors

$$Q = 2{,}21\, l.\,(H^{\frac{3}{2}} - h^{\frac{3}{2}}).$$

Observons toutefois que cette dernière formule ne peut s'appliquer qu'à des vannes bien construites, et qui n'offrent de contraction, ni sur le fond, ni sur les côtés.

Quoique ces formules soient faciles à appliquer, on a cherché à les simplifier ; en faisant

$$\frac{H+h}{2} = K, \text{et } H-h = C,$$

elles peuvent être mises sous la forme (1) :

$$Q = A\,C\,\sqrt{2gK},$$

dans laquelle A représente une fonction assez compliquée de $\frac{C}{2K}$, mais dont on n'a pas besoin d'effectuer le calcul, parce qu'elle varie très-peu entre des limites assez étendues, et que sa valeur moyenne est $A = 0{,}98$, laquelle substituée ainsi que celle de g, donne pour formule théorique de la dépense,

$$Q = 4{,}34\, C l \sqrt{K}.$$

(1) Architecture hydraulique, page 304, note CO.

Lorsqu'il y a contraction sur le fond et sur les côtés, elle se réduit dans la pratique aux 0,65, et devient

$$Q = 2{,}82\, C l \sqrt{K}.$$

Mais quand on évite la contraction du fond et celle des côtés, la dépense réelle est les 0,75 de la dépense théorique, et est donnée par la formule

$$Q = 3{,}255\, C l \sqrt{K}.$$

On voit que c'est d'après les différentes circonstances locales, qu'on devra choisir la formule à appliquer. On conçoit facilement qu'il n'est pas possible d'employer la même pour toutes les vannes, car ce serait confondre une bonne construction avec une mauvaise.

Voyons l'usage que nous ferons de ces formules, pour estimer la force que l'on peut obtenir d'un cours d'eau. La quantité de mouvement qu'il possède, est représentée par le produit du poids du volume de fluide dépensé dans une seconde, par exemple, par la hauteur due à la vitesse qu'il a au bas de la chute.

Dans l'écoulement en-dessus, lorsque l'eau tombe verticalement, sa vitesse au bas de la chute est sensiblement égale à celle due à la hauteur. Il suffira donc alors de multiplier le poids de l'eau dépensée, par la différence de hauteur

des niveaux d'amont et d'aval pour avoir la force du cours d'eau. C'est le cas des roues à augets. Mais lorsque l'eau parcourt un canal plus ou moins long, pour arriver sous une roue à aubes, il paraît, d'après des expériences récentes de M. Poncelet, insérées dans son mémoire sur les roues hydrauliques à aubes courbes, que le rapport de la vitesse effective à la vitesse théorique, est moyennement 0,9285, et par suite le rapport des hauteurs dues, est 0,862. Ainsi, la hauteur réelle de la chute devra être réduite à 0,862 de sa valeur et multipliée alors par le poids de l'eau dépensée; elle donnera la force réelle que l'on pourra amener sur la roue.

Il sera facile, dans chacun de ces deux cas, de connaître la vitesse de l'eau qui afflue sur la roue, ce qui est très-important dans la pratique. En effet, la théorie indique que sur les roues à augets, l'eau doit arriver avec une vitesse nulle pour produire le plus grand effet possible; mais ce résultat ne peut jamais être atteint, et, l'eau ayant toujours une vitesse plus ou moins grande, M. Navier démontre que pour le maximum d'effet, il faut que la vitesse de la roue soit moitié de celle de l'eau affluente. Or, d'autre part, la vitesse la plus convenable pour le maximum d'effet des roues à augets, est de 1$^{m.}$ environ par seconde à la circonférence; il s'ensuit donc qu'en général, la vitesse de l'eau affluente ne devra

pas dépasser 2^m, ce qui correspond à une élévation de $0^m,2$ du niveau d'amont au-dessus du sommet de la roue.

Pour les roues à aubes ordinaires, comme pour celles à aubes cylindriques de M. Poncelet, la vitesse de la roue doit aussi être théoriquement la moitié de celle de l'eau qui arrive sur les aubes, ce qui servira à établir une relation entre l'ouverture de la vanne et sa longueur, et par conséquent à déterminer celle-ci.

Des roues hydrauliques. — Il y a trois sortes de roues hydrauliques particulièrement en usage : les *roues à augets* qui reçoivent l'eau en-dessus ou entre le sommet et le centre, et dans lesquelles elle agit par pression et un peu par impulsion ; les *roues de côté* sur lesquelles l'eau arrive à une certaine hauteur au-dessous du centre, et agit par impulsion et par pression ; enfin les *roues à aubes* qui sont mues par le choc de l'eau à leur partie inférieure. Je passe sous silence quelques autres espèces de roues étrangères aux usines de l'artillerie et dont l'usage est restreint à des cas particuliers.

Des roues à augets. — Les roues à augets sont celles dont l'emploi est le plus favorable et qui utilisent la plus grande portion de la force motrice. La théorie démontre que, dans le cas du maximum d'effet, elles pourraient élever à la hauteur de la chute, un poids égal à celui de

l'eau dépensée, ce qui est le plus grand effet qu'une machine quelconque puisse produire. Mais on sait que ce maximum ne peut jamais être atteint; d'une part à cause des résistances passives, et de l'autre parce que les augets ne gardent jamais l'eau dans toute la hauteur de la chute.

Plusieurs savans se sont occupés à appliquer le calcul à ces roues; mais aucun n'a obtenu des formules d'un emploi aussi facile dans la pratique que M. Navier. Presque tous faisaient abstraction de la vitesse avec laquelle l'eau arrive sur la roue, parce que la théorie indique que, pour produire le plus grand effet, il faut que l'eau affluente ait une vitesse nulle; mais cette limite de la théorie ne peut pas être atteinte dans la pratique, et dans la plupart des usines on s'en écarte même beaucoup. Il importait donc de faire entrer en considération le choc qui résulte de cette vitesse de l'eau.

M. Navier a appliqué avec succès le principe des forces vives à cette question, et parvient très-facilement à la formule suivante, que l'on trouvera démontrée dans ses notes sur l'Architecture hydraulique, page 412.

Soit h la hauteur du niveau de l'eau affluente au-dessus du sommet de la roue, H la hauteur totale de la chute, c'est-à-dire la distance verticale du niveau supérieur à l'inférieur, m la masse

de l'eau dépensée en une seconde, g la gravité, P la résistance représentée par un poids appliqué à la circonférence d'un cercle dont le rayon égale celui de la roue, ou plutôt celui de la circonférence qui passe par le centre de gravité des augets, V la vitesse de la roue; on a entre ces quantités la relation,

$$PV = mg(H-h) + m(\sqrt{2gh} - V)V.$$

Cette formule convient au cas général, à celui où la construction et la marche de la roue ne sont pas réglées d'après les vrais principes.

Pour trouver les conditions du maximum d'effet, M. Navier suppose h constant, et différentie cette équation en n'y faisant varier que V. Il trouve pour la valeur de cette variable qui correspond à ce maximum,

$$V = \tfrac{1}{2}\sqrt{2gh},$$

c'est-à-dire que la vitesse de la roue doit être double de celle de l'eau affluente. Il en résulte que la formule générale devient

$$PV = mg(H - \tfrac{1}{2}h).$$

Mais ce maximum n'est que relatif à la valeur particulière de $V = \frac{1}{2}\sqrt{2gh}$. Pour avoir le maximum absolu, il faut maintenant supposer h variable, et comme m peut-être remplacé par

sa valeur $m = C h^{\frac{3}{2}}$, C étant, comme on le sait, un coefficient numérique constant, on aura, en différentiant le deuxième membre de l'équation ci-dessus,

$$\{ \tfrac{3}{2} C g h^{\frac{1}{2}} (H - \tfrac{1}{2} h) - \tfrac{1}{2} C g h^{\frac{3}{2}} \} \, d h$$

égalant le coefficient de $d\,h$ à zéro, et supprimant les facteurs communs, on a, $3 h^{\frac{1}{2}} (H - \frac{1}{2} h) - h^{\frac{3}{2}} = 0$, équation qui est satisfaite par $h = 0$, et dont l'autre racine est étrangère à la question. Cette valeur de $h = 0$ donne $V = 0$; ce qui fait voir que le maximum absolu de l'action de l'eau sur une roue à augets, correspond à une vitesse nulle de l'eau affluente, et à la plus petite vitesse possible de la roue. Ce résultat, déjà indiqué par plusieurs auteurs, devait être joint à la valeur de $V = \frac{1}{2} \sqrt{2 g h}$ pour faire voir qu'elle ne donne pas seule le maximum absolu d'effet utile.

Dans la pratique, il est nécessaire, pour l'uniformité du mouvement, que la vitesse de la roue ne soit pas trop petite. On lui donne ordinairement 1^{m}. par seconde à la circonférence; pour les grandes roues et surtout pour celles en fer qui ne sont pas sujettes à avoir *du pésant*, on peut diminuer cette vitesse et la réduire à $0^{m},60$ par seconde.

La vitesse de l'eau affluente devant être double

de celle-ci, sera facile à calculer, ainsi que la hauteur à laquelle elle est due.

Les deux formules précédentes doivent être modifiées pour les applications, par des coefficiens numériques. D'après les expériences de Smeaton, il paraît que l'effet réel n'est guère que les 0,[illegible]7 de l'effet théorique; cependant on peut l'augmenter dans le cas de la deuxième formule par un bon tracé des augets, et nous prendrons pour ce rapport 0,80 ou $\frac{4}{5}$. La formule pratique pour le maximum d'effet, sera donc

$$PV = \frac{4}{5}\, mg\left(H - \frac{1}{2}h\right).$$

Quant à la première, comme elle se rapporte à des usines qui s'écartent des règles d'une bonne construction, et que par suite de la vitesse de l'eau affluente, il en rejaillit toujours une quantité plus ou moins grande, dont l'effet est perdu, il paraît difficile de déterminer d'avance le coefficient numérique à lui appliquer. Lorsqu'il ne rejaillira pas beaucoup d'eau, on pourra employer le coefficient 0,80; dans le cas contraire on le diminuera. Toutefois, comme l'application de cette formule aura presque toujours pour but de déterminer la force utilisée par une machine existante, pour pouvoir en établir une nouvelle d'après cette base, il n'y aura pas d'inconvénient à employer un coefficient trop fort. D'ailleurs, la deuxième formule est la plus importante,

puisque c'est celle dont on doit se servir pour l'établissement d'une usine.

En appelant Q le volume de l'eau dépensée dans une seconde, exprimé en mètres cubes, on a,

$$mg = 1000^{\text{kil.}}\ Q \text{ et par suite}$$
$$PV = \tfrac{4}{5}.\ 1000.\ Q\,(H - \tfrac{1}{5}h)^{\text{kil. m.}}$$

et l'effort exercé tangentiellement à la circonférence qui passe par le centre des augets sera,

$$P = \tfrac{4}{5}.\ 1000\,\tfrac{Q}{V}\,(H - \tfrac{1}{5}h)^{\text{kil.}}$$

Remarquons bien, de nouveau, que h représente ici la hauteur due à la vitesse avec laquelle l'eau arrive sur la roue, et que cette hauteur est celle du niveau du réservoir au-dessus du sommet de la roue. La vitesse pratique des roues à augets devant être de 1^{m}. à la circonférenee, celle de l'eau afluente sera de 2^{m}. et due par conséquent à une hauteur de $0,^{m}2$. Lorsque l'usine travaillera avec continuité en faisant toujours la même dépense d'eau, et que le ruisseau en produira toujours le même volume, le niveau d'amont sera à peu près constant. Dans ce cas, on emploiera de préférence les vannes en déversoir. L'épaisseur d'eau à laisser passer sur ces vannes devant être en général assez petite, on augmentera leur longueur en conséquence. On diminuera par là la profondeur des augets, et le centre de gravité de

la couronne d'eau sera plus éloigné de l'axe de rotation. Il faudra toutefois éviter de tomber dans des dimensions exagérées. L'épaisseur de la lame d'eau ne doit guère être au-dessous de $0^m,02$, et, s'il est possible, on ne lui donnera jamais plus de $0^m,20$.

La hauteur du niveau d'amont de $0^m,2$ au-dessus du sommet de la roue, au lieu de correspondre exactement au niveau légal du déversoir, devra lui être un peu inférieure, afin de pouvoir travailler dans les basses eaux. On aura soin aussi de laisser à la vanne assez de latitude pour qu'elle puisse descendre un peu plus bas qu'il n'aura été réglé par le calcul. A cet effet, on ne donnera au conduit qui amène l'eau sur la roue, que la pente nécessaire pour conserver à l'eau sa vitesse; $\frac{1}{10}$ suffira.

Dans les usines qui travaillent par intermittences, et qui consomment dans certains momens plus d'eau que la source n'en fournit, ce qui oblige à l'accumuler en amont, on emploiera de préférence les vannes en dessous, parce qu'il serait difficile, dans ce cas, d'appliquer les vannes en déversoir aux roues à augets qui prennent l'eau par le sommet. Alors selon que le niveau sera plus ou moins élevé, la vitesse de l'eau affluente variera, et s'écartera plus ou moins de celle qui convient au meilleur effet; c'est ce qui arrivera dans la plupart des forges.

Pour avoir la facilité de conserver toujours la même vitesse de l'eau affluente, quelles que soient les variations du niveau, et pour augmenter en même temps le rayon de la roue, ce qui lui donne plus de force pour vaincre les frottemens, on a imaginé de construire des roues à augets qui reçoivent l'eau entre leur sommet et leur centre. La vanne est inclinée et à peu près tangente à la circonférence de la roue. Il résulte de cette disposition, que la hauteur à laquelle les augets reçoivent l'eau varie avec le niveau; sans que la vitesse convenable au meilleur effet soit changée. On y trouve de plus cet avantage, que la courbure de la roue étant moins rapide, les augets se vident plus tard, et que par conséquent l'eau agit plus long-temps sur la roue. Ceci me conduit naturellement à parler de ces immenses roues en fer, que l'on construit en Angleterre et dont l'usage s'introduit en France. Celle que je vais décrire vient d'être établie à Senones, département des Vosges, pour le service d'une grande filature; son élégance et la perfection de l'exécution la rendent très-remarquable.

Fig. 2 *et* 3. *Pl.* I. L'arbre de cette roue est en fonte, et toute la charge étant portée par ses deux extrémités auprès des tourillons, ces parties sont plus fortes que le corps. Le tourillon a 10 pouces de diamètre; ainsi que la partie à huit pans qui lui est contiguë. Le corps de l'arbre

a environ 8 pouces de diamètre; il est cylindrique, mais, afin de s'opposer au fouettement; on l'a renforcé par quatre ailes ou plumes, ayant environ 10 pouces de flèche au-dessus du milieu du corps, et 1 à 2 pouces d'épaisseur au bord.

Sur les parties à huit pans, sont montés deux manchons en fonte, circulaires et évidés annulairement vers le milieu, comme le montre la figure.

Les joues de la roue sont deux anneaux de fonte; elles sont liées à l'arbre chacune par dix bras en fer forgé rond, de 2 pouces de diamètre. Ces bras s'assemblent dans les joues par un *T*, qui s'engage dans un renfort adapté intérieurement à la joue pour cet effet. Leur autre extrémité traverse le bord extérieur du manchon, et est fortement serré en dedans de l'anneau au moyen d'un écrou.

Les augets sont soutenus au milieu de leur longueur par un cercle en fonte, dans lequel vingt bras, semblables à ceux des joues, s'assemblent d'une manière analogue par une de leurs extrémités, tandis que l'autre traverse l'un des manchons, et y est arrêtée par des écrous qui passent sur un plan incliné perpendiculaire à la longueur des bras, et ménagé dans l'angle de l'évidement de l'anneau. Il faut ajouter que ces bras inclinés, qui s'assemblent alternativement dans l'un ou

dans l'autre manchon, sont disposés de manière à ne pas aboutir l'un vis-à-vis de l'autre, mais de sorte que l'un traverse le cercle entre les deux qui viennent de l'autre côté.

Il résulte de ce mode d'assemblage, que tous les bras tirent les anneaux vers le centre de la roue, et qu'au moyen des écrous, on peut ramener à volonté les parties qui se seraient un peu déformées.

Les augets sont en tôle d'une ligne d'épaisseur; leur tracé est absolument le même que celui que j'ai indiqué. L'espacement à la circonférence extérieure est d'un pied, et le fond des augets a 6 pouces. Le prolongement de ce fond passe par le bord de l'auget suivant, et est dirigé selon le rayon. Tous les augets sont liés entre eux par des boulons espacés de 2 à 3 pieds dans la longueur de la roue, de sorte que leur ensemble est pour ainsi dire inflexible.

Le diamètre de la roue est de 24 pieds, sa longueur de 18. La chute est de 18 pieds; ainsi la roue prend l'eau à 6 pieds au-dessous de son sommet. La vanne est inclinée et laisse passer l'eau en-dessus, mais afin que, malgré les variations du niveau, le fluide puisse toujours entrer dans la roue suivant la direction des augets, sans se perdre entre la vanne et la roue, on a disposé entre elles un système de petites cloisons dirigées dans le sens des faces des augets aux-

quels elles correspondent, et qui y conduisent l'eau.

La vanne est en fonte et armée de deux crémaillères à ses extrémités; un pendule conique, en communication avec les organes de transmission, l'élève ou l'abaisse, afin de régulariser la marche de la roue; mais, comme cette vanne est très-lourde, on a pris la précaution d'y adapter deux contrepoids qui lui font à peu près équilibre, de sorte que le régulateur n'a que peu d'effort à faire pour la conduire.

A l'une des joues est fixé par des boulons, un grand rouet d'engrenage, qui, au moyen d'un pignon intérieur, transmet le mouvement aux machines. D'après la construction de la roue, il paraît qu'on est obligé de fixer ainsi le rouet aux joues, et qu'on ne pourrait sans danger le monter sur l'arbre. Il serait à craindre que les bras ne se tordissent, parce que leurs dimensions sont calculées pour résister à un effort de tension et non pas à une torsion.

Cette roue, construite avec soin et peinte pour éviter la rouille, est d'une élégance et d'une précision remarquables. Elle doit avoir un mouvement d'une régularité parfaite. Mais à côté de ces avantages, elle offre quelques inconvéniens. Elle pèse 55,000 kil., poids énorme qui consomme en frottement au moins la force de deux chevaux. Le nombre des boulons qu'elle renferme est de

12 à 15,000. On ne peut estimer les 100 kil. de cette roue mise en place, matière et façon comprises, à moins de 150 fr.; ce qui porte le prix de la roue à plus de 80,000 fr. Avec les frais de maçonnerie, elle doit revenir au moins à 120 ou 130 mille francs; dépense qui paraît hors de proportion avec les avantages qu'elle peut avoir sur une autre que l'on aurait construite en bois avec le même soin et la même observation des vrais principes.

En Angleterre, où le fer est à vil prix, et le bois extrêmement rare, on conçoit fort bien l'emploi de ces roues; mais en France, le haut prix du fer et l'abondance des bois de construction doivent rendre beaucoup plus circonspect sur l'emploi des roues en fer, qui paraît devoir être restreint aux très-grands établissemens, dans lesquels la précision est indispensable, par exemple dans ceux où une machine à vapeur doit fonctionner d'accord avec la roue. On sait en effet que dans les grandes roues en bois, il est bien difficile d'éviter qu'elles n'aient un *pesant*, c'est-à-dire que leur poids ne soit inégalement réparti autour de l'axe, ce qui nuit beaucoup à la régularité de leur effort; les roues en fer, au contraire, sont ou peuvent être rendues exemptes de ce défaut.

Après cette digression, que l'importance et la nouveauté de ces roues me fera pardonner, je

reviens aux détails de la construction des roues à augets.

On doit faire en sorte que les augets soient un peu plus grands qu'il n'est nécessaire pour contenir toute l'eau affluente à son arrivée; par là, ils la conservent plus long-temps tout entière. On satisfera à cette condition, en faisant les augets tels que l'eau qui y entre ne remplisse que les $\frac{4}{5}$ de leur capacité.

d étant l'intervalle entre deux augets, on aura la relation

$$Q = \frac{v}{d} \cdot \frac{4}{5} \cdot A$$

dans laquelle *Q* est connu, *v*, vitesse de la roue à la circonférence, $= 1^m$; *d* est ordinairement égal à 0^m, 30 ou 0^m, 35; *A*, qui représente la capacité cherchée, sera donc connue, et comme elle est une fonction de *l* et de *d* qui sont connus, et de la profondeur des augets, il s'ensuit que dans chaque cas, celle-ci sera facile à déterminer.

Fig. 4. *Pl.* I. Voici le tracé que j'ai adopté pour les augets. Soit *A B* l'épaisseur de la zone fluide, ou l'intervalle des circonférences qui comprennent entre elles les augets, *A C* la distance des fonds sur la circonférence intérieure; elle est à peu près égale à *d* : *A B* et C *D* sont deux rayons.

Je joins le point D avec le milieu E de AB, la surface comprise dans $AEDC$ représentera celle du profil de l'auget. Or, on a à peu de chose près,

Surface $AEFC = \frac{1}{2} AC \times AB$, et
Surface $DEF = \frac{1}{2} EF \times DF = \frac{1}{4} AB \times AC$.

Donc,

Surface $AEDC = \frac{3}{4} AB \times AC$;

ou en, faisant l'épaisseur $AB = e$ et appelant S la surface du profil;

$$S = \frac{3}{4} ed.$$

Mais on a aussi

$$A = S.\ l.$$

l étant toujours la longueur de l'orifice de la vanne. On déduira facilement de là la valeur de e.

Dans la pratique, au lieu de terminer l'auget par la ligne droite DE, il sera bon de la remplacer par un arc de cercle tangent au cercle extérieur au point D, et ayant pour corde la ligne DE, son centre O est facile à déterminer. L'augmentation de capacité qui en résultera, compensera le volume perdu par l'épaisseur des parois. Ceci suppose que les augets sont en tôle, et alors on devra aussi arrondir l'angle du fond et du côté. Si on les faisait en bois, au lieu de

l'arc DE, on pourrait les terminer par deux faces planes, ayant la direction des cordes DG et GE, aboutissant au milieu de l'arc. On obtient par-là l'avantage de rejeter le centre de gravité de la charge vers la circonférence, ce qui augmente son bras de levier.

On peut facilement déterminer la hauteur à laquelle les augets commencent à se vider; en effet, il est évident qu'ils ne perdront l'eau que quand la ligne horizontale, menée par le point D, viendra couper CA en un point tel que le triangle CDH ait pour surface $\frac{2}{5}$ de S, puisque les $\frac{3}{5}$ restant suffisent, d'après la construction, pour contenir l'eau affluente. On aura donc

$$\frac{1}{2}\, CD \times CH = \frac{2}{5}\, S,$$ ou en

faisant $CH = x$,

$$ex = \frac{4}{5}\, S,$$ d'où
$$x = \frac{4}{5}\,\frac{S}{e}.$$

Il sera, par suite de cette valeur de x, facile de trouver à quelle hauteur au-dessous de l'axe la ligne CH est horizontale, et par conséquent le point où les augets commencent à se vider. Dans le cas où ils sont terminés par une portion cylindrique, on voit qu'ils ne seront tout-à-fait vides qu'au bas de la roue.

Si d'après le tracé ci-dessus, on cherchait le

centre de gravité de l'auget, on trouverait qu'il est sur une circonférence dont le rayon est égal à celui du cercle intérieur AC, plus $\frac{11}{16}$ AB; mais comme les augets ne sont jamais pleins, on pourra, sans erreur sensible, prendre pour rayon de la circonférence moyenne des augets, celui du cercle intérieur, augmenté de $\frac{1}{3}$ de AB.

Roues de côté. — Les roues de côté participent des roues à augets et des roues à aubes proprement dites. On sait qu'elles se meuvent dans un coursier où elles doivent avoir le moins de jeu possible, et qu'elles reçoivent l'eau au-dessous de leur centre. Comme une partie de ces roues est constamment plongée dans l'eau, il s'ensuit qu'il faut retrancher de l'effort de la roue celui qui est dû au poids du volume d'eau qu'elle déplace.

En appelant p ce poids, s la longueur de l'arc immergé, z sa hauteur verticale, et conservant du reste les mêmes notations que pour les roues à augets, M. Navier (1) donne pour formule théorique du plus grand effet de ces roues :

$$PV = 1000\,Q\,(H - \tfrac{1}{2}h) - p\,\frac{z}{s}\,V^{\text{kil. m.}}$$

L'effet réel est bien loin d'atteindre cette valeur, à cause des pertes d'eau qui se font entre les parois et la roue ; et comme, afin de les di-

(1) Architecture hydraulique, p. 418.

minuer, on augmente la vitesse de la roue, il s'ensuit que l'effet utile est encore affaibli. Il ne parait pas que, dans la pratique, on puisse se flatter d'obtenir un résultat plus grand que 0,50 ou 0,60 de l'effet théorique.

Une expérience assez curieuse de M. Christian (*Mécanique industrielle*), semblerait prouver que, même dans le cas où la roue prend l'eau de côté, il faudrait employer des augets au lieu d'aubes. Il a fait arriver la même chute sur une roue de côté à augets, et sur une roue de côté à aubes, de mêmes dimensions, de $10^m,618$ de circonférence moyenne. Le rapport de la force dépensée à l'effet utile dans le cas du maximum, a été pour la roue à augets de 5 à 4, et pour la roue à aubes de 2 à 1. Il faut donc conclure de cette expérience, que l'effet des roues de côté à aubes est loin d'être aussi avantageux qu'on le croit.

Lors donc qu'on emploiera une roue de côté, il faudra la faire à augets, et l'on se servira pour son établissement des formules données pour les roues à augets proprement dites.

Si cependant l'on était forcé par des circonstances quelconques, de faire une roue de côté à aubes, ou si l'on avait des calculs à établir pour une usine déjà construite, on déterminerait les dimensions d'après les considérations suivantes.

La vitesse de la roue peut et doit même dépasser 1^m par seconde, pour remédier aux per-

tes d'eau produites par le jeu dans le coursier.

On emploiera ordinairement les vannes en déversoir, et si le niveau doit varier, on y adaptera l'appareil décrit à l'occasion de la roue en fer.

En appelant Ω la surface de la section de la veine d'eau dans le coursier, on a

$$\Omega = \frac{Q}{V}$$

et comme la surface Ω est égale à la longueur de l'aube, multipliée par sa hauteur immergée, il s'ensuit que celle-ci sera déterminée. La hauteur totale de l'aube devra être égale à $\frac{3}{2}$ de celle qui est plongée dans l'eau au point inférieur.

En faisant $Q = \Omega V$ dans la formule théorique, elle devient,

$$PV = 1000\,\Omega V \left\{ H - \tfrac{1}{2} h \right\} - p \frac{s}{S} V^{\text{kil. m.}}$$

et la pression théorique exercée à la circonférence de la roue, sera

$$P = 1000\,\Omega \left\{ H - \tfrac{1}{2} h \right\} - p \frac{s}{S} V^{\text{kil.}}$$

Dans la pratique et pour des roues bien construites, on réduira ces formules à 0,50 ou 0,60 au plus.

Il faut remarquer que pour des roues dont les aubes sont en tôle, les joues en fonte et le coursier en pierre, le tout fait avec soin, le jeu peut

être réduit à 4 ou 5 millimètres au plus, et que le terme $p\frac{2}{5}$ devient beaucoup plus faible; ce qui rend ces roues d'un meilleur usage.

Roues à aubes. — Passons aux roues à aubes proprement dites, qui reçoivent l'eau à la partie inférieure, et sont mues par impulsion. Avant de donner les formules dues à M. Poncelet, qui a introduit dans leur construction des perfectionnemens si heureux, je crois devoir rapporter celles qui sont relatives aux roues ordinaires, parce que l'on peut être dans le cas de s'en servir pour des calculs à faire sur des usines établies.

En conservant les notations employées jusqu'ici, M. Navier donne (1) pour la formule théorique du mouvement de ces roues,

$$PV = m\{\sqrt{2gH} - V\}V;$$

en la différenciant par rapport à V et égalant à zéro le coefficient de dV, on trouve que la vitesse correspondante au maximum d'effet, est

$$V = \tfrac{1}{2}\sqrt{2gH},$$

Ce qui transforme la formule générale en

$$PV = mgH;$$

d'où l'on voit que le plus grand effet possible de

(1) Architecture hydraulique, p. 421.

ces roues n'est que la moitié de la force dépensée.

Les expériences de Bossut et de Smeaton apprennent que, dans la pratique, on ne doit donner aux aubes que les $\frac{2}{5}$ de la vitesse de l'eau, ce qui, joint à d'autres causes, oblige de réduire les résultats de la théorie à

$$PV = \frac{2}{3} m \{ \sqrt{2gH} - V \} V$$

et pour le cas du maximum à

$$PV = \frac{1}{3} m g H.$$

En remplaçant $m g$ par sa valeur 1000 Q kil., ces formules deviennent

$$PV = \frac{2}{3} . 1000 \frac{Q}{g} \{ \sqrt{2gH} - V \} V^{\text{kil. m.}}$$

et

$$PV = \frac{1}{3} 1000\, Q H^{\text{ kil. m.}}$$

Si l'on veut y introduire la surface des aubes, en appelant Ω la portion immergée, on a $Q = \Omega V$, et par suite

$$PV = \frac{2}{3} . \frac{1000}{g} \Omega \{ \sqrt{2gH} - V \} V^{2 \text{ kil. m.}}$$

et pour le maximum

$$PV = \frac{1}{3} . 1000\, V H^{\text{ kil. m.}}$$

S'il arrivait que les aubes ne remplissent pas exactement le coursier, et qu'il s'échappât de

l'eau autour et par dessous, il ne faudrait prendre pour $Q = \Omega V$ que la portion de l'eau dépensée qui exerce réellement son action sur les aubes.

Ces formules pratiques ne peuvent être employées que pour des roues construites avec soin, et dont une portion est renfermée dans un coursier circulaire, ce qui les rapproche des roues de côté. Dans les cas ordinaires, on ne peut prendre que 0,50 de l'effet théorique, ce qui réduit l'effet utile à 0,25 de la dépense; c'est ce qui arrive presque toujours pour les moulins à farine.

Roues à aubes courbes. — Frappé de cette perte énorme de force, qu'offrent ordinairement les roues à aubes, malgré quelques perfectionnemens plus ingénieux qu'utiles, proposés par différens auteurs, tels que les rebords de Morosi, etc., et remarquant avec raison que ces roues sont les seules qu'on puisse employer pour utiliser les petites chutes, ou pour obtenir immédiatement de grandes vitesses, M. Poncelet s'est occupé d'en améliorer la construction, et ses efforts ont été couronnés d'un plein succès.

Il propose de remplacer les aubes planes par des aubes cylindriques, qui se raccorderaient à peu près tangentiellement avec la circonférence extérieure de la roue. Dans un mémoire auquel l'Académie des sciences a décerné le prix de mé-

canique, fondé par M. de Monthyon, et dont je ne puis qu'indiquer ici les résultats, cet ingénieur donne pour l'équation du mouvement de ces sortes de roues la formule théorique

$$P v = 2 m \{V - v\} v$$

dans laquelle v est la vitesse de la roue et V celle de l'eau affluente.

Il trouve que pour ces roues comme pour celles à aubes planes, le maximum d'effet correspond à la vitesse,

$$v = \tfrac{1}{2} V,$$

et la formule devient

$$P v = m . \frac{V^2}{2} = m g H$$

H étant la hauteur due à cette vitesse V de l'eau affluente; ce qui fait voir que, théoriquement parlant, ces roues sont capables de produire autant d'effet que les roues à augets, c'est-à-dire, le plus grand des effets possibles. En y remplaçant m ou la masse d'eau dépensée par seconde, par

$$m = \frac{1000 \text{ kil.}}{g} Q,$$

la formule générale devient

$$P v = \frac{2000}{9.809} . Q \{V - v\} v = 203,894 . Q \{V - v\} v,$$

et celle qui est relative au maximum d'effet,

$$P v = 1000 \; Q H^{\text{kil. m.}}$$

Il résulte des expériences en grand faites par M. Poncelet et rapportées dans le deuxième mémoire qu'il vient de faire paraître, qu'en prenant pour H la chute totale réelle, c'est-à-dire, la différence de hauteur du niveau d'amont et du ressaut ménagé sous la roue, on pourra admettre dans la pratique que le rapport de l'effet utile à l'effet théorique sera de 0,60 pour les charges d'eau de $1^m,30$ et au-dessous, avec des ouvertures de vanne de $0^m,20$ à $0^m,30$; de 0,55 pour des charges plus fortes et les mêmes ouvertures, et de 0,50 pour des charges au-dessus de $1^m,50$, avec des ouvertures de $0^m,09$ à 0,10.

Une autre modification à apporter aux résultats théoriques, c'est que la vitesse correspondante au maximum d'effet de la roue, au lieu d'être la moitié de celle de l'eau, doit en être les 0,60.

Il suit de ces résultats pratiques que les roues à aubes cylindriques ne sont préférables aux roues à augets et de côté, que pour les faibles chutes avec de fortes dépenses d'eau.

Toutefois, lorsqu'il sera nécessaire d'obtenir immédiatement et sans engrenage une grande vitesse, on pourra encore les employer avec succès pour des chutes assez fortes, mais alors le coefficient numérique devra être choisi en conséquence, d'après ce que j'ai rapporté plus haut.

En introduisant dans les formules théoriques

le rapport 0,60, elles deviendront, pour le cas général,

$$Pv = 122,34\ Q\,\{V - v\}\ v^{\text{kil. m.}},$$

et pour celui du maximum,

$$Pv = 600\ QH^{\text{kil. m.}}$$

J'ai dit plus haut que les aubes courbes étaient *à peu près* tangentes à la circonférence extérieure de la roue. Il est en effet facile de vérifier que si elles étaient rigoureusement tangentes à cette circonférence, il en résulterait un choc, et par suite une perte de force vive. M. Poncelet entre à ce sujet dans une discussion assez étendue, qu'il ne convient pas de répéter ici. Je me bornerai donc à rapporter le tracé pratique qu'il donne pour ces aubes.

Fig. 5, *planche* I. Le diamètre de la roue étant déterminé d'après la vitesse que la roue doit prendre et transmettre, et en observant qu'il ne doit pas être beaucoup au-dessous du double de la chute, on mène à la partie inférieure de la roue une tangente AB inclinée au $\frac{1}{10}$, et qui représente le fond du coursier. Parallèlement à cette ligne on trace DE, qui représente la surface supérieure de la lame d'eau affluente. Il faut observer ici que, par l'effet inévitable de la contraction en dessus, l'épaisseur de cette lame d'eau n'est que les $\frac{4}{5}$ de l'ouverture de la vanne. On joint le point D avec

le centre C et on élève sur DE, au point D, une perpendiculaire sur laquelle on place le centre o de la courbure de l'aube, à une distance Do, égale à l'épaisseur de la couronne, ou à la hauteur des aubes augmentée de $\frac{1}{6}$, ou $\frac{1}{7}$ de sa valeur. Cette hauteur des aubes dépend de celle à laquelle l'eau s'élève en les parcourant; la théorie indique qu'elle doit être égale à $\frac{1}{4}\cdot\frac{V^2}{2g}$ c'est-à-dire au quart de la chute totale. Cependant, à cause des variations dans la vitesse de la roue, qui s'écarte souvent de la valeur qui convient pour le maximum d'effet, M. Poncelet pense que, pour les chutes au-dessous de 2 mètres, on pourra la porter jusqu'au tiers de la chute.

Quant à l'écartement des aubes à la circonférence, il peut être réduit à la moitié de l'ouverture de la vanne, si cette ouverture dépasse $0^m,18$ et aux $\frac{3}{4}$ de cette quantité si elle est plus faible que $0^m,18$.

Cette ouverture de la vanne, ou plutôt la hauteur dont on l'élève, sans être déterminée d'une manière absolue, est cependant renfermée entre certaines limites pratiques provenant des circonstances physiques de la machine. Si elle est très faible, par exemple au-dessous de $0^m,10$, il en résulte que le jeu inévitable de la roue dans son coursier, n'est pas proportionnellement assez grand par rapport à l'épaisseur de la lame d'eau

et par suite l'effet utile est diminué; si elle est au contraire trop forte, par exemple au-dessus de $0^m,40$, il en résulte d'autres inconvéniens, développés par M. Poncelet dans son second mémoire. Il résulte de là plusieurs conséquences; d'abord, dans les usines qui emploient peu de force, l'usage des roues à aubes sera moins avantageux pour les grandes chutes que pour les petites, parce que dans le premier cas, l'épaisseur de la lame d'eau devra être très-faible; ensuite, pour ne pas trop augmenter cette épaisseur dans les petites chutes, il conviendra de donner plus de longueur à l'ouverture de la vanne.

L'expérience indique que pour de fortes chutes et de faibles dépenses, le rapport de la hauteur à la largeur de l'orifice doit être de 1 à 2, et pour de faibles chutes et de fortes dépenses, celui de 1 à 4. Toutefois cette règle n'est pas absolue, et l'on peut s'en écarter un peu en plus ou en moins sans inconvéniens.

D'après ce rapport et les autres conditions de la question, il serait facile d'établir les équations nécessaires pour déterminer toutes les dimensions de l'ouverture de la vanne. Soit en effet y sa hauteur, x sa largeur, K, v, H et Q les quantités déjà définies, on aura pour le cas où la largeur serait égale à 4 fois la hauteur, les équations

$$v = 3{,}255\sqrt{K},$$

$$\frac{Q}{v} = xy,$$
$$x = 4y,$$
$$H - \frac{1}{2}y = K.$$

En éliminant x, v et K, on arriverait à une équation du quatrième degré en y, d'où l'on pourrait peut-être tirer la valeur de cette quantité, et par suite on obtiendrait celles de x et de K; mais le calcul étant très-compliqué, il sera plus simple de chercher y par tâtonnement, comme le fait M. Poncelet, parce qu'il suffit que le rapport de la base à la hauteur se rapproche de celui qui est indiqué par l'expérience, sans lui être rigoureusement égal.

Résumé relatif aux roues hydrauliques. — Résumons les règles pratiques données pour chaque espèce de roue, afin de pouvoir en comparer les avantages et les défauts, et fixer le choix à faire suivant les circonstances locales et les besoins du travail à exécuter.

Les roues à augets bien construites peuvent rendre 0,80 de la force qui leur est appliquée; comme elles doivent avoir environ 1^m de vitesse par seconde à la circonférence, il faut, d'après ce que nous avons vu, ménager sur l'orifice une charge d'eau de $0^m\ 20$, pour que l'eau affluente, en arrivant à hauteur du sommet de la roue, ait une vitesse de 2^m, double de celle de la roue. Cette hauteur de $0^m\ 20$,

rigoureusement nécessaire, doit être augmentée un peu pour parer aux inégalités d'affluence et de dépense de l'eau. Pour une usine et un cours d'eau d'une marche régulière, l'emploi des vannes en déversoir permettra de limiter cette hauteur totale à 0^m30; mais pour des cours d'eau variables, et des usines qui travaillent à intermittence, on sera, comme je l'ai dit, obligé d'employer les vannes en dessous, et alors la charge d'eau à établir dépendra des circonstances particulières à l'usine. Dans tous les cas, la hauteur de cette charge devra être retranchée de la chute totale dont on peut disposer; le reste doit être au moins égal à 2 mètres, et sera le diamètre extérieur de la roue. Il ne serait pas avantageux d'employer des roues d'un diamètre moindre, parce qu'elles perdraient l'eau trop tôt. Cette détermination du diamètre suppose que, par les conditions du problème, il faut recevoir l'eau en dessus; mais lorsqu'on ne sera pas astreint à cette condition, on pourra faire ce diamètre plus grand que la chute, et alors on le déterminera d'après la vitesse à transmettre à l'outil.

Les roues de côté à aubes utilisent 0,60 de la force dépensée, quand elles sont bien construites; elles peuvent prendre une vitesse de plus de 1^m par seconde; il faudra, en conséquence, ménager, comme dans le cas précédent, une charge d'eau au-dessus du seuil de la vanne; on la cal-

culera, dans chaque cas, d'après la vitesse qu'on voudra donner à la roue. Nous avons vu que, d'après les expériences de M. Christian, il valait mieux faire les roues de côté, à augets qu'à aubes, parce qu'on peut en obtenir alors jusqu'aux 0,80 de la force dépensée.

Les roues à aubes ordinaires n'utilisent au plus que 0,30 de la force dépensée, et la plupart du temps on n'en obtient que 0,25 à 0,20.

Les roues à aubes cylindriques transmettent pour les petites chutes et les fortes dépenses, 0,60 de la force dépensée; pour les fortes chutes, leur effet utile diminue à mesure que la chute augmente et que la dépense est moindre.

Quant aux rayons des roues de côté et des roues en dessous, il n'est pas déterminé à priori, comme celui des roues à augets qui prennent l'eau au sommet; mais, d'une part, la théorie des frottemens indique que plus le rayon de la puissance est grand, plus elle a de force pour vaincre cette résistance passive; d'un autre côté, la vitesse de rotation doit être telle, que celle qui en résulte pour l'outil convienne au travail. On cherchera donc le rapport obligé des différens organes de transmission, en tâchant de diminuer leur nombre autant que possible, et en leur laissant de grands moyens pour atténuer l'effet des frottemens, sans toutefois tomber dans des dimensions excessives.

D'après ce qui précède, concluons que pour

les chutes de 2^m,50 et au-dessus, on devra employer les roues à augets, quand même on serait obligé de s'écarter un peu de la vitesse de 1^m, convenable au meilleur effet, ce qui est le cas des forges et martinets; que pour les chutes de 2^m,50 à 1^m,30, on emploira les roues de côté à augets, et qu'enfin, pour les chutes de 1^m,30 et au-dessous, on emploira les roues à aubes courbes de M. Poncelet.

De la marche à suivre dans l'application des formules relatives aux roues hydrauliques. — Disons un mot de la marche à suivre dans l'application de toutes les formules relatives aux différentes roues que nous avons examinées.

La quantité de mouvement PV représente le nombre de kilogrammes élevés à un mètre par seconde, qui correspond à la résistance du travail et du frottement. Lors donc qu'on connaîtra la force consommée par le travail que l'on veut exécuter, on y joindra une certaine force pour tenir compte approximativement des frottemens, et on aura la valeur de PV; en l'introduisant dans les formules, ainsi que les quantités H, h, v, etc., etc., données par les localités et les conditions du travail, on en tirera dans chaque cas la valeur de Q, ou du volume d'eau à dépenser par seconde; et d'après cela on trouvera, comme je l'ai indiqué, les dimensions des autres parties de la machine.

La valeur trouvée pour Q fera connaître si le cours d'eau dont on peut disposer est assez puissant pour faire mouvoir l'usine projetée; mais remarquons toutefois que, quelque confiance que méritent les formules pratiques données, il sera toujours prudent de s'assurer les moyens de pouvoir appliquer à la machine plus de force que le calcul n'en réclame, afin de pouvoir remédier à des défauts d'exécution, et à des circonstances imprévues.

J'ai dit que pour tenir compte des frottemens, on devrait ajouter un certain nombre de kil. m. à la force nécessaire au travail. Je donnerai plus loin les formules pratiques au moyen desquelles on peut, dans chaque cas, évaluer la quantité de mouvement consommée par ces frottemens; mais comme elle dépend, ainsi qu'on le sait d'avance, des pressions, et par conséquent des différens organes, on tournerait dans un cercle vicieux, si on voulait les estimer de prime-abord. C'est pour cela qu'on se contente d'augmenter la quantité de mouvement dépensée par le travail, de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$, etc., etc. de sa valeur; sauf à corriger les résultats donnés par la formule d'établissement de la roue, si le calcul exact des frottemens prouvait ensuite qu'on s'est trompé de beaucoup en moins, dans leur estimation approximative. On voit, d'ailleurs, qu'il n'y aura guère d'inconvéniens à les estimer plutôt trop haut que trop bas.

Établissement des machines à vapeur. — Ainsi que je l'ai annoncé au commencement de ce mémoire, je ne donnerai ici que quelques observations sur le choix et l'ensemble des machines à vapeur.

Il en existe aujourd'hui trois systèmes bien distincts généralement en usage. Celui de Watt et Bolton à simple ou à double effet; celui de Woolf, ou à moyenne pression; enfin les machines à haute pression, d'après Trévitheck, en Angleterre, et Oliver Evans, aux États-Unis.

Le premier, celui de Watt, opère avec de la vapeur à la température de 100° centigrades et sous la pression d'une atmosphère. D'après les derniers perfectionnemens qu'il a reçus, il utilise une portion de la force expansive de la vapeur, dont l'introduction dans le cylindre n'a lieu que pendant le tiers de la course du piston. C'est encore celui qui est le plus généralement employé en Angleterre, où l'abondance de la houille permet une plus grande consommation de combustible.

Les machines de Woolf introduites en France par Edwards, qui n'y a fait que peu de changemens, sont aussi connues sous le nom de machines à moyenne pression. Elles ont ordinairement deux cylindres et opèrent avec de la vapeur dont la tension équivaut à 1 $\frac{1}{2}$, 2, etc., jusqu'à 4 et 5 atmosphères. On sait que la vapeur introduite dans le petit cylindre passe ensuite dans le grand,

où elle se dilate et agit par sa force expansive. Ces machines, ainsi que celle de Watt, ont un condenseur. Leur effet utile, comparé à la quantité de combustible dépensé, est beaucoup plus grand que dans ces dernières. D'après les rapports des ingénieurs des mines de Cornouailles, pendant cinq années le produit moyen des machines de Watt a été de 1 mètre cube d'eau, élevée à 1^{m} par 18 kilogrammes de houille, tandis que celles de Woolf ne consomment que 6,79 kilogrammes pour le même effet. Il faut cependant ajouter que l'on a reproché à ce dernier système, de perdre de ses avantages par l'usage. On conçoit en effet que plus la tension de la vapeur est grande, plus il doit s'en échapper par les joints. Au reste, la perfection d'une semblable machine dépend de la précision apportée dans la construction, et tel système fort bon en lui-même, peut être mauvais en pratique, s'il y a la moindre négligence dans l'exécution.

Les machines dites à haute pression opèrent sans condenseur et avec de la vapeur dont la tension équivaut à 4, 5, etc., etc..... 10 atmosphères; il est bien rare que l'on dépasse cette dernière limite. Après avoir agi par sa tension primitive et par sa force d'expansion, la vapeur s'échappe dans l'air. Remarquons à ce sujet que, dans les condenseurs, le vide n'est jamais complet; mais qu'il approche plus ou

moins de cette perfection, et qu'alors la vitesse avec laquelle la vapeur qui a terminé son action se précipite dans le condenseur, dépend de la différence de tension entre l'intérieur du cylindre et cette capacité; d'où il suit, que plus le vide sera parfait, plus cette vitesse sera grande et la condensation rapide. Or, dans les machines sans condenseur, la vapeur sortant du cylindre passe dans l'atmosphère; donc la force qui la sollicite est égale au nombre d'atmosphères correspondant à sa tension, diminué d'une unité, perte qui sera d'autant moins sensible, que la tension de la vapeur dans la chaudière sera égale à un plus grand nombre d'atmosphères; donc, toutes choses égales d'ailleurs, entre les machines à haute pression, les plus avantageuses sont celles qui opèrent à la tension la plus élevée.

La perte de force dont je viens de parler est compensée par la suppression de la pompe à eau de condensation, et surtout par l'avantage de diminuer de beaucoup le volume de la machine. Ces deux circonstances sont importantes pour les bateaux et les chariots à vapeur; aussi, les machines à haute pression sont-elles particulièrement adoptées dans ces deux cas.

C'est une erreur de regarder ces machines comme plus dangereuses et plus sujettes aux explosions que celles qui travaillent à la pression ordinaire. Lorsque les précautions convenables

seront prises, et que la conduite de la machine sera confiée à un homme qui observera exactement ce qui lui sera prescrit, il n'y aura rien à craindre de ces machines. Les accidens qu'elles ont éprouvés sont presque tous dus à l'infraction des mesures de sûreté, et par conséquent ne prouvent rien contre les machines elles-mêmes. L'exemple des États-Unis où il est notoire que la plupart des accidens sont arrivés à des machines ordinaires, est une preuve suffisante de l'injustice du reproche fait aux machines à haute pression.

Pour les besoins ordinaires de l'industrie, les machines à moyenne pression sont celles qui conviennent le mieux, parce qu'elles tiennent peu de place et qu'elles dépensent moins de combustible que celles de Watt.

Lorsqu'on sera déterminé à l'emploi d'une machine à vapeur pour exécuter un travail donné, on saura quel nombre de kilogrammes elle doit être en état d'élever à un mètre de hauteur par seconde. C'est là la base sur laquelle devra reposer le marché à faire avec le fabricant de machines.

J'insiste sur ce point, parce que j'ai déjà dit combien la mesure ordinaire en nombre de chevaux est incertaine et sujette à discussion; toutefois, si l'on convient de la force adoptée pour le cheval, il sera facile de ramener l'une de ces mesures à l'autre. Il importe donc beaucoup

de savoir exactement quelle est la force nécessaire pour exécuter le travail donné; j'indiquerai plus loin les moyens de l'estimer. Dans tous les cas, il sera prudent de commander une machine plus forte qu'il n'est nécessaire, parce qu'il est bon d'avoir à sa disposition un excédant de force que l'on pourra employer à d'autres usages, et qu'il n'y a pas d'inconvénient à faire travailler une machine avec une force moindre que sa puissance totale.

Les machines à vapeur ont plusieurs régulateurs, dont il importe beaucoup de connaître l'usage et de surveiller l'exécution et l'emploi. Le plus important de tous est la soupape de sûreté; on sait qu'elle se compose ordinairement d'un tampon ou bouchon conique rôdé avec soin, qui entre dans une ouverture de même forme, ménagée dans la partie supérieure de la chaudière. Ce bouchon est fixé à un levier mobile, dont l'extrémité est chargée d'un poids correspondant à la tension que doit avoir la vapeur dans la chaudière. Lorsque cette tension dépasse la limite qu'elle doit atteindre, elle soulève la soupape, et la vapeur s'échappe dans l'air, l'équilibre se rétablit, la soupape retombe et ferme de nouveau l'ouverture. Une ordonnance du roi prescrit à tous les propriétaires et fabricans de machines à vapeur d'adapter deux de ces soupapes de sûreté à chaque chaudière; l'une à la

disposition du chauffeur, et l'autre renfermée dans un grillage dont le chef de l'établissement doit avoir la clef, afin qu'il ne soit jamais possible de surcharger le levier, ce qui pourrait avoir les plus funestes conséquences. Je dois ajouter que l'ouverture des soupapes doit être calculée de manière que chacune d'elles suffise seule à l'écoulement de la vapeur.

La disposition que je viens de décrire est celle qui est généralement adoptée pour les soupapes de sûreté; elle a cependant des inconvéniens assez graves, et des observations faites par M. Clément, prouvent qu'elle est loin d'être aussi parfaite qu'on le pourrait croire; je ne veux pas parler ici de l'adhérence du bouchon avec la soupape, puisqu'on peut y obvier en l'entretenant avec soin, mais d'un phénomène particulier à ce genre d'appareil. En voici, tout à la fois, la description et l'explication donnée par ce professeur, dans son cours de chimie appliquée aux arts.

Lorsque l'air s'écoule par un petit orifice percé en paroi plane, et qu'on en approche un disque d'un plus grand diamètre et parallèle à l'ouverture; l'espace occupé par le fluide est d'abord un anneau très-mince, ayant pour base le contour de l'orifice et pour hauteur la distance du disque à la paroi. Après que l'air a franchi cet espace, il en occupe un autre de même hauteur, mais d'un développement plus grand, et

ainsi de suite; de sorte que l'écoulement se fait par des espaces toujours croissans, et par conséquent la densité du fluide écoulé diminue en raison inverse; si donc elle n'était qu'un peu supérieure à celle de l'atmosphère à l'orifice, elle se trouvera bientôt au-dessous, et la pression moyenne exercée par le fluide sur le disque pour l'éloigner de la paroi, sera moindre que celle de l'atmosphère pour l'y retenir fixé. On peut vérifier cette explication, en perçant le disque de trous à différentes distances du centre, auxquels on adapte des tubes recourbés qui plongent dans l'eau, et en produisant un courant d'air; on voit l'eau se déprimer sous sa pression dans les tubes voisins du centre, et monter dans ceux qui en sont très éloignés.

On voit que ce phénomène n'a lieu que quand le disque est sensiblement plus grand que l'orifice; c'est pourquoi on peut obvier à ce défaut des soupapes de sûreté, en leur donnant une ouverture de quelques centimètres, et ne les faisant recouvrir par le disque, que de 4 à 5 millimètres.

Un autre moyen d'éviter ce défaut, est de former les soupapes d'un petit piston qui s'engage dans un tuyau cylindrique garni latéralement d'un tuyau d'écoulement. Ce moyen, adopté par Oliver Evans et d'autres constructeurs, est décrit dans plusieurs ouvrages.

La même ordonnance dont j'ai parlé plus haut,

prescrit aussi à chaque chaudière l'usage de deux plaques métalliques fusibles à des températures déterminées. Ces plaques, soudées à des ouvertures pratiquées dans la chaudière, se ramollissent, se boursoufflent et crèvent quand la chaleur et la tension de la vapeur dépassent une limite déterminée. Toutefois, leur emploi a aussi ses inconvéniens, parce qu'elles n'ont pas assez de ténacité pour la marche ordinaire de la machine, qu'elles s'amollissent et cèdent quelquefois trop facilement à la force de la vapeur. Il paraît préférable d'appliquer sur une ouverture faite à la chaudière une plaque de cuivre mince fixée par des écrous, et dont l'épaisseur est calculée de manière qu'elle se brise à la température que l'on ne veut pas dépasser.

L'alimentation de la chaudière est une chose très-importante, et il faut qu'elle soit réglée par la machine elle-même, pour être indépendante de l'attention du chauffeur. A cet effet, un flotteur armé d'une tige verticale suit le mouvement du niveau de l'eau dans la chaudière. On se contente souvent de le mettre en communication avec une sonnette, qui avertit que l'eau a baissé au delà d'une certaine limite, ou simplement avec un poids dont l'élévation ou l'abaissement indique à l'ouvrier le niveau de l'eau; celui-ci ouvre alors au besoin un robinet qui communique avec la pompe alimentaire. Mais ces moyens sont vicieux;

car si l'ouvrier est négligent, la chaudière peut se vider sans qu'il s'en aperçoive. Il faut absolument que la tige du flotteur soit liée par un système de leviers, au robinet qui permet l'introduction de l'eau alimentaire dans la chaudière. De plus, il sera bon que ce flotteur soit en communication avec un registre, qui ouvre ou ferme la cheminée, selon qu'il y a plus ou moins d'eau dans la chaudière. On évitera par là les explosions qui pourraient résulter de l'introduction de l'eau dans une chaudière vide dont les parois seraient rouges.

A ces précautions, il faut joindre l'emploi d'un manomètre, qui indique à chaque instant au chauffeur le degré de tension de la vapeur, afin qu'il puisse gouverner son feu en conséquence.

L'introduction de la vapeur dans le cylindre se règle au moyen de soupapes dont la forme varie et qui sont mises en jeu par la machine elle-même. Afin de prévenir l'accélération ou le retard dans la marche du piston, l'ouverture de ces soupapes est modérée par le jeu d'un pendule conique mis en mouvement par l'arbre du volant; sa marche est assez connue pour qu'il soit inutile de la décrire ici. On adapte quelquefois un de ces pendules aux soupapes d'injection, mais il n'y a pas d'avantage à faire varier ainsi la condensation de la vapeur; car si, par exemple, la machine marche trop vite, que l'on veuille la retar-

der, et que pour cela on diminue l'injection, il s'ensuit que la tension plus grande que conserve la vapeur dans le condenseur, agit en sens contraire de celle qui vient de la chaudière, et qu'il y a perte de force; il vaut beaucoup mieux que la condensation se fasse aussi complétement que possible, et que l'introduction seule de la vapeur soit bien réglée. Toutefois, comme les machines travaillent quelquefois à des degrés de tension différens, que la température de l'eau d'injection influe sur la rapidité de la condensation, il est bon de pouvoir varier selon les besoins l'ouverture du tuyau d'injection; mais cela se fait à la main et seulement une ou deux fois par jour, selon la résistance que la machine doit vaincre.

Toutes les machines à vapeur destinées à produire un mouvement de rotation doivent être armées d'un volant pour corriger les inégalités et les à-coups du mouvement du piston et de la manivelle. Dans le cas où la résistance serait elle-même variable et séparée du moteur par un assez grand nombre d'organes de transmission, il serait bon aussi de lui appliquer un volant.

Dans les machines à balancier, on maintient le mouvement de la tige du piston dans une direction à peu près verticale, au moyen de l'appareil connu sous le nom de parallélogramme; on adapte même souvent cette disposition aux pompes à eau et à air, surtout dans les grandes ma-

chines; mais dans celles qui n'ont pas de balancier, et où la bielle qui fait marcher la manivelle est fixée à un T qui surmonte la tige du piston, on supprime tous les parallélogrammes, et pour conserver la direction verticale aux tiges des pistons des pompes à eau et à air, on se contente de les former de deux pièces articulées à charnière. Cette méthode est plus simple, mais elle n'est pas sans défauts, et presque toujours les tiges tirent obliquement et le jeu des pompes en souffre beaucoup.

D'après le tableau donné par M. Dupin, dans sa douzième leçon de dynamie, il faudrait pour produire 1000 kilogrammes de vapeur,

	Kilo.	
Houille 1re. qualité.	141	18
Bois sec.	272	94
Tourbe de bonne qualité.	500	

c'est-à-dire, environ deux fois plus de bois ou quatre fois plus de tourbe que de houille, tandis que d'après les estimations pratiques de Risler frères, et Dixon, habiles constructeurs du Haut-Rhin, il faudrait plus de trois fois autant de bois et six fois autant de tourbe que de houille.

C'est d'après les circonstances locales qu'on se déterminera dans le choix du combustible; mais pour peu qu'il n'y ait pas trop de différence dans la dépense en employant de la houille, on devra

la préférer, parce que, toutes choses égales d'ailleurs, la construction des fours sera plus facile et plus économique.

Estimation de la force consommée par un travail donné. — Pour terminer cette deuxième partie, il me reste à indiquer comment on estime le nombre de kilogrammes élevés à un mètre par seconde, qui représente la force consommée par le travail qu'on veut faire exécuter à la machine. Cet important problème, dont les élémens dépendent des circonstances particulières à chaque espèce de travail, ne comporte pas de solution générale.

Trois moyens se présentent pour le résoudre.

Le premier est de calculer directement d'après les données de la question la force à employer; mais ce procédé général n'est applicable que dans bien peu de cas, et encore n'est-il pas susceptible de beaucoup d'exactitude. Lorsque le travail consiste par exemple à élever un outil, un piston, on peut l'employer avec quelque succès; j'en donnerai un exemple à propos des soufflets d'un martinet.

Le second moyen, qui n'est qu'indirect, est d'examiner une machine qui exécute le travail que l'on veut produire, de rechercher la quantité de mouvement transmise par le moteur de cette machine, d'après les formules de son établissement, en y introduisant toutes les données ma-

térielles. Cette marche peut être suivie pour les manéges, pour les roues hydrauliques, et pour les machines à vapeur; on peut même l'appliquer au travail exécuté par des hommes. J'en donnerai des exemples en parlant d'une scierie et d'un martinet.

Enfin, le troisième moyen est l'emploi du frein dynamométrique de M. de Prony, dont on trouve la description et la théorie dans les *Annales des Mines*, tom. XII; il se rapporte à la solution précédente, mais il est plus rigoureux, parce qu'il donne exactement la quantité de mouvement transmise par l'arbre sur lequel on opère. Il serait facile et très-important de l'appliquer aux fonderies pour déterminer la force consommée à chaque époque du forage et du tournage des pièces; les résultats que l'on obtiendrait seraient plus exacts que ceux que pourrait donner la formule des manéges dont j'ai indiqué l'usage pour cet objet.

Une suite d'expériences faites avec soin au moyen de ce frein dynamométrique serait un travail bien précieux; car il donnerait en même temps le rapport de la force dépensée à l'effet utile produit par les différens moteurs, et, ce qui est plus important encore, la force nécessaire à l'exécution de chaque espèce de travail (1).

(1) Afin de mettre l'auteur de ce mémoire dans la pos-

Des frottemens. — J'ai indiqué plus haut la marche à suivre pour tenir compte des frotte-

---

sibilité d'exécuter les expériences dont il parle ici, on lui a donné la mission spéciale d'aller dans les trois fonderies royales étudier et comparer les effets des moteurs qui y sont employés, et compléter les données qu'il a déjà réunies sur les différentes parties des machines. Il a reçu à cet effet l'instruction suivante :

« L'examen d'une machine renferme en général deux » parties distinctes, mais également essentielles. La pre- » mière, qu'on peut appeler l'*appréciation dynamique* » de la machine, consiste dans la connaissance des rap- » ports numériques entre les intensités des agens moteurs, » les pertes occasionées par les chocs, frottemens et » résistances diverses, et la force utilisée ou l'effet pro- » duit. La seconde partie, ou l'*appréciation indus-* » *trielle*, a pour objet de rechercher l'influence que » la manière d'agir de la machine, que son mode de » fonctionner exercent sur la qualité des produits, sur le » temps nécessaire pour les obtenir, et par conséquent » sur leur prix commercial. Cette dernière considération » imprime aux recherches mécaniques leur caractère de » spécialité, et exige que chaque branche d'industrie étudie » les machines sous un point de vue particulier. Celles » qu'on rencontre dans les établissemens de l'artillerie » doivent donc être examinées sous le rapport des besoins » de l'armé, et tel est l'objet spécial de la mission confiée » à M. Morin. Considérés comme industriels, ces établis- » semens renferment en général trois moteurs : les cours » d'eau, les machines à vapeur et les manéges.

» Pour acquérir une utilité vraiment pratique, les

mens, d'une manière approximative, dans l'établissement des machines; je vais maintenant don-

---

» données précieuses sur ces actions motrices qui sont » répandues dans les ouvrages scientifiques, et celles qui » sont recueillies dans le mémoire de M. Morin, deman» à être complétées, garanties par des observations plus » multipliées, par des expériences plus précises. Pour » donner à ce travail le degré de perfection désirable, » M. Morin devra principalement visiter les trois fonde» ries royales, dans lesquelles se trouvent employés les » trois principaux moteurs dont il est question. Comme » il est indispensable, pour juger de la bonté relative » d'une machine, d'en bien connaître les principaux élé» mens, M. Morin devra, après avoir donné une des» cription sommaire de chaque agent, entrer dans les » détails qui suivent :

» 1°. Évaluation numérique de la force appliquée.

» On aura soin d'indiquer le moyen dynamométrique » employé pour parvenir à ce résultat, et les disposi» tions qu'on a faites pour s'en servir. Il est à désirer, » dans l'intérêt de l'exactitude dans les comparaisons, » que le même moyen et des dispositions analogues soient » conservés pour les trois agens moteurs. Cette observa» tion se rapporte également aux deux articles qui suivent. » Il paraît avantageux de faire usage du frein de M. de » Prony pour la mesure des forces.

» On adoptera pour unités dynamiques les trois unités » les plus usitées, qui sont l'élévation des poids, le tra» vail de l'homme et le travail du cheval. On indiquera » les rapports qu'on aura adoptés pour la conversion de » ces unités les unes dans les autres.

ner les formules numériques à employer pour les calculer rigoureusement.

» 2°. Évaluation numérique des forces consommées par » le travail ; indication des causes de cette perte, et, » autant que possible ; appréciation numérique de la part » qu'on peut attribuer à chacune de ces causes ;

» 3°. Évaluation numérique de la force utilisée ou de » l'effet produit ;

» 4°. Temps employé pour obtenir cet effet, et prix du » travail qui en est la conséquence ;

» 5°. Observations sur les qualités des produits, comme » résultant du mode d'action de la machine ;

» 6°. Tableau de comparaison dynamique des trois » moteurs entre eux et avec ceux que M. Morin aura » observés dans les établissemens du commerce et de la » marine, ou qui sont consignés dans les recueils in- » dustriels ;

» 7°. Améliorations dont les machines des établisse- » mens paraissent susceptibles, sous le rapport de la » qualité des produits, de l'économie du temps, de la » dépense ; enfin, de la facilité et du bon ordre du » service.

» Quoique l'exploration des trois fonderies de l'artil- » lerie, et l'étude des moteurs qui y sont employés, soient » l'objet principal de la mission de M. Morin, il est » toutefois autorisé à visiter les autres établissemens de » l'arme, ainsi que ceux de la marine et du commerce, » qui se trouvent à peu de distance de la route qu'il doit » parcourir ; là, il devra chercher des renseignemens » auprès des chefs d'établissemens, des contre-maîtres, » des principaux ouvriers, etc. Il est plusieurs points

Frottement sur les tourillons ou axes d'une roue à augets. — Il résulte des expériences de

---

» sur lesquels on appelle principalement l'attention de » M. Morin :

» 1°. Les bancs de forerie : Rectitude de l'âme de la » pièce ; moyen d'obtenir un mouvement de rotation » uniforme et sans oscillation ; résistance relative au » tournage.

» 2°. Les roues hydrauliques : Construction la plus » avantageuse de ces roues ; renseignemens détaillés sur » les roues à aubes courbes.

» 3°. Les volans : Dans quelles limites leur établissement est-il utile ? Quand commence-t-il à devenir » nuisible ? Où convient-il de les placer ? Il serait très- » important d'avoir des expériences exactes sur cet in- » dispensable accessoire des machines.

» 4°. Les régulateurs et soupapes de sûreté des ma- » chines à vapeur : Quand y a-t-il économie à employer » de préférence une machine à haute, à basse ou à moyenne » pression ?

» 5°. Les martinets et les bocards : Quelle est la forme » la plus convenable des cames, des pilons, la hauteur » de chute, etc. ?.....

» 6°. Les travaux métallurgiques : Comparaison des » procédés en usage dans l'artillerie, dans la marine et » dans le commerce ; fabrication des câbles en fer et des » ancres de la marine près de Nevers ; moyens employés » pour connaître la résistance des chaînes, etc.

» 7°. Les scieries : Dans quels cas peut-on employer avec » sûreté la scie circulaire ? Quelle qualité et quelle épais- » seur de bois cette espèce de scie peut-elle débiter ? »

Coulomb que le rapport du frottement du fer sur le cuivre à la pression, est égal à 0,11 quand les surfaces sont enduites de suif.

D'après M. Navier (1), en appelant R la résultante des pressions exercées sur un tourillon, et F le rapport constant du frottement à la pression pour les substances qui composent ce tourillon et son coussinet, le frottement de cet axe sera

$$R.\frac{F}{\sqrt{1+F^2}}$$

en mettant pour F sa valeur 0,11, on aura pour l'expression du frottement dans ce cas

$$0{,}1093\ R.$$

Cherchons donc la résultante R dans une roue à augets; elle provient de deux forces, le poids Q de la roue et le poids B de la charge d'eau. Ce dernier peut être supposé appliqué au centre de gravité de la zone fluide, et en joignant ce point G, *Fig.* 6, *Pl.* I, avec le centre C de la roue, et appelant α l'angle ACG que fait ce rayon avec la verticale, la composante de la charge B qui pressera l'axe sur son coussinet sera B cos. α d'où il suit que l'on aura

$$R=\sqrt{Q^2+B^2\cos.^2\alpha+2BQ\cos.^2\alpha}$$

(1) Architecture hydraulique, page 144.

et le frotement sera

$$0,1093\sqrt{Q^2 + B^2 \cos.^2 a + 2 B.Q \cos.^2 a}.$$

Dans la pratique, pour plus de simplicité et comme on peut sans risque évaluer les frottemens au-dessus de leur valeur, on pourra supposer que les augets restent pleins jusqu'en bas. Le centre de gravité se trouvera alors sur le rayon horizontal, et le poids B s'ajoute à Q; en sorte que $R = B + Q$, et par suite le frottement est égal à

$$0,1093 \{ B + Q \}^{\text{kil.}}$$

Cette force est appliquée à l'extrémité du rayon r du tourillon. V étant la vitesse de la roue à la circonférence du rayon moyen R des augets, la vitesse à la circonférence du rayon r sera

$$V.\frac{r}{R}$$

et la quantité de mouvement due au frottement sera

$$0,1093 \{B + Q\} V\frac{r}{R}^{\text{kil. m.}}$$

qui devra être ajoutée à PV dans les formules d'établissement.

On opérerait de même pour une roue de côté; quant aux roues à aubes, la pression de l'eau tendant plutôt à les soulever qu'à les appuyer sur les coussinets, le frottement ne sera dû qu'à

leur propre poids et se calculera d'une manière analogue.

Frottement sur les axes des roues d'engrenage. — Pour les roues d'engrenage, la pression qu'une roue exerce ou reçoit par son contact avec celle qu'elle conduit ou qui la conduit, doit aussi être ajoutée à son poids et composée avec ce poids, pour obtenir le frottement sur les tourillons. Mais comme dans toutes les positions possibles de deux roues d'engrenage, la pression qu'elles exercent réciproquement l'une sur l'autre, tend à soulever l'une et à appuyer l'autre sur ses coussinets, il s'ensuit que le frottement est toujours diminué dans l'une, tandis qu'il est augmenté dans l'autre par l'effet de cette pression; et quoique la compensation ne soit exacte que dans le cas où les roues sont égales, ou dans celui où une même roue engrène de part et d'autre avec deux autres, on peut cependant le négliger dans la pratique, et alors la valeur du frottement sur les tourillons se réduit à

$$0{,}1093\ Q'^{\text{ kil.}}$$

en appelant Q' le poids de la roue d'engrenage. Si on désigne par V' sa vitesse à la circonférence, par R' son rayon, et par r' celui du tourillon, la quantité de mouvement à ajouter à PV pour vaincre ce frottement, sera

$$0{,}1093.\ Q'\frac{V'\,r'}{R}{}^{\text{ kil. m.}}$$

On opérera de même pour estimer les frottemens sur tous les autres axes de la machine.

Frottemens des engrenages. — Passons aux engrenages, et commençons par le cas d'une came qui soulève un piston ou une tige de piston. Cette came étant une spirale développante de cercle, dont je donnerai le tracé plus tard, et la tige s'élevant toujours dans une même direction, ordinairement verticale, il en résulte que le frottement est ici une force horizontale constante, qui agit à l'extrémité d'un levier égal à la hauteur dont la tige a été soulevée. En appelant donc Q le poids du piston, h la hauteur à laquelle il est élevé par seconde, la quantité de mouvement qu'il faut employer pour vaincre le frottement, sera $f\ Q\ h$; expression dans laquelle on mettra pour h l'espace parcouru dans une seconde par le piston, calculé d'après sa levée totale et le nombre de coups qu'il doit donner par minute.

Dans les cas ordinaires, la came et l'extrémité de la tige sont en fonte ou en fer; et, d'après Coulomb, f est alors égal à 0,10, en supposant les surfaces graissées.

La quantité de mouvement à ajouter à PV pour vaincre le frottement de la came, sera donc

$$0,10\ Q\,h^{\text{kil. m.}}$$

On distingue dans l'engrenage de deux roues

deux sortes de frottemens, celui de roulement et celui de glissement. Le premier étant très-faible, on le néglige ordinairement dans la pratique. Lorsque deux roues de même diamètre engrènent l'une avec l'autre, le flanc de la première a le même développement que la dent de la deuxième; il n'y a pas de glissement, il n'y a que roulement, on peut donc alors négliger le frottement.

Ce cas où le frottement de glissement est nul, parce que le flanc d'une dent a la même longueur que la courbe de l'autre, et celui des cames dont je viens de parler où ce frottement est le plus grand possible, parce que le flanc d'une des dents est réduit à un seul point sur lequel tous ceux de la came viennent passer, sont les limites entre lesquelles se trouve le cas général de deux roues inégales engrenant ensemble. Comme on ne peut employer les valeurs de f données par Coulomb, puisqu'il n'y a qu'un glissement incomplet, M. Navier propose, faute d'expériences suffisantes pour éclairer la question, d'employer la formule suivante, qu'il ne donne que comme une règle empirique.

F étant le rapport du frottement à la pression donné par les tables de Coulomb, et n le rapport de la longueur de la courbe de dent à celle du flanc, on aura

$$f = F\left\{1 - \frac{1}{n}\right\}$$

Pour des dents en fonte engrenant avec des dents en bois, on a $F = 1,07$, et

$$f = 0,07 \left\{ 1 - \frac{1}{n} \right\}$$

P' et V' représentant la pression et la vitesse à la circonférence du cercle primitif de la roue d'engrenage, on aura

$$f . P' V' = 0,07 \left\{ 1 - \frac{1}{n} \right\} P' V'^{\text{kil. m.}}$$

pour la quantité de mouvement à ajouter à PV, pour représenter le frottement des dents de cette roue.

Le rapport n est d'autant plus grand que les diamètres des roues diffèrent davantage, ce qui indique qu'il faut éviter de faire engrener de trop petits pignons avec de grandes roues. On voit encore que ce rapport diminue ordinairement beaucoup le frottement f, déjà très-petit, et que dans une machine puissante on peut le négliger, s'il n'y a pas beaucoup d'engrenages.

TROISIÈME PARTIE.

DÉTAILS DE CONSTRUCTIONS.

Malgré l'importance d'un grand nombre de parties accessoires des usines et de leur établissement, telles que les fondations, les radiers, les maçonneries hydrauliques, etc., etc., je suis obligé de les passer sous silence et de me borner à celles qui ont un rapport direct avec la question mécanique.

Des arbres ou axes. — Les arbres ou axes sont une partie fort importante des machines; il est nécessaire d'avoir des règles fixes pour en déterminer les dimensions, afin qu'ils aient une solidité suffisante, mais non excessive, ce qui augmenterait inutilement les frottemens.

Ceux des manéges sont verticaux, et ordinairement dans des lieux à l'abri de l'humidité, ce qui permet de les faire en sapin. On a alors l'avantage de moins charger les pivots et de diminuer les frottemens; mais pour les roues hydrauliques, le sapin ne peut être employé; il est trop flexible et trop susceptible de se pourir. Le chêne est le seul bois dont on fasse usage, parce qu'il

est le plus raide et le moins corruptible. Il a cependant le grand inconvénient d'avoir souvent des défauts cachés, difficiles à découvrir, surtout dans les grandes pièces. Lorsque les dimensions d'un arbre hydraulique ne sont pas trop fortes, on le fait ordinairement d'une seule pièce; mais s'il doit avoir une grande longueur et un fort diamètre, la difficulté toujours croissante de se procurer d'assez grosses pièces, et surtout le danger de ne pas avoir un arbre bien sain, ont fait imaginer divers moyens d'y suppléer.

Autour d'un arbre de dimension ordinaire, servant de noyau et taillé à cinq ou six faces, on ajuste cinq ou six autres pièces que l'on boulonne entre elles et avec le noyau. Les joints sont goudronnés avec soin, et le tout est cerclé fortement. On obtient ainsi un arbre dont la force est au moins aussi grande que s'il était d'une pièce, et dont le prix est beaucoup moindre.

On a aussi imaginé, et on emploie souvent des arbres en tonneaux, dont les douves sont des pièces de bois de $0^m,20$ à $0^m,25$ d'épaisseur. Elles sont intérieurement supportées sur des cercles en fonte, ce qui empêche la flexion de l'arbre, et extérieurement on les maintient par des cercles. Nous verrons plus loin qu'un arbre ainsi construit est plus fort que celui d'une seule pièce dont le volume serait le même. Le diamètre extérieur de ces arbres étant assez grand, on y trouve de plus

l'avantage de diminuer les dimensions et le poids des pièces qu'ils doivent supporter.

Les arbres de communication de mouvement se font ordinairement en bois, quand ils sont grands et que leur volume ne gêne pas; quand ils sont courts, ou qu'on a besoin de ménager l'espace et de ne pas intercepter la lumière, on les fait en fonte ou en fer forgé.

Les Anglais, dans la construction de leurs machines, emploient le plus souvent des arbres en fonte ou en fer; le bas prix de ce métal dans leur pays, la rareté du bois, l'avantage d'une régularité beaucoup plus grande dans les mouvemens et l'invariabilité dans les dimensions sont les motifs de cette préférence; mais en France les deux premières circonstances sont en sens inverse, ainsi que je l'ai déjà dit, ce qui doit rendre beaucoup plus circonspect sur la substitution du fer au bois. Je vais toutefois donner les formules pratiques, au moyen desquelles Tredgold, ingénieur civil anglais, détermine les dimensions des différens axes en fonte, ainsi que les rapports de résistance des matériaux en usage, ce qui permettra facilement de trouver les formules qui leur sont applicables. Les règles données par cet auteur sont déduites d'une théorie sujette peut-être à discussion, mais elles s'accordent avec des expériences directes qu'il a faites et avec les résultats de pratique des meilleurs constructeurs d'Angleterre;

elles sont en mesures anglaises, et je les ai traduites en mesures métriques d'après les rapports suivans :

Une livre avoir-du-poids vaut. . .	kil. 0,453514
Un pied anglais.	m. 0,304799
Un pouce anglais.	m. 0,025399

Soient W la pression qu'un barreau de fonte posé horizontalement doit supporter en son milieu; l sa longueur ou portée, b sa largeur prise horizontalement, d son épaisseur, on aura,

$$\frac{l.\ W}{7,170} = b.\ d^2,$$

formule dans laquelle W représente des kilogrammes, l des mètres, b et d des centimètres. Si la charge n'est pas au milieu du barreau, soient λ et λ', ses distances aux extrémités, de sorte que $l = \lambda + \lambda'$, on aura,

$$\frac{4\,\lambda\,\lambda'\,W}{7,170\,l} = b\,d^2$$

λ et λ' sont exprimées en mètres.

Lorsque la charge est uniformément répartie sur toute la longueur de la pièce, on a

$$\frac{l.\ W}{14.340}\ b\,d^2.$$

Pour des pièces carrées, c'est-à-dire, dont l'épaisseur égale la largeur, ce qui est le cas des axes de rotation, ces trois formules deviennent, en y faisant $b=d$,

$$\frac{l.\,W}{7{,}170}=d^3$$

$$\frac{4\,\lambda\lambda'.\,W}{7{,}170}=d^3$$

$$\frac{l.\,W}{14{,}340}=d^3.$$

Lorsqu'un cylindre de fonte doit porter en son milieu un poids W, son diamètre est déterminé par la formule.

$$\frac{W.\,l}{4{,}218}=d^3.$$

Si la charge est à la distance λ de l'une des extrémités et λ' de l'autre, on aura,

$$\frac{4\,W.\,\lambda\lambda'}{4{,}218.\,l}=d^3.$$

Si elle est uniformément répartie sur la longueur, on a,

$$\frac{W.\,l}{8{,}436}=d^3.$$

Remarquons, en passant, que le barreau carré étant plus fort que le cylindre inscrit, il suffira toujours, pour un arbre carré, de prendre pour côté le diamètre de son tourillon.

La force que peut supporter un prisme triangulaire est à celle que supporterait le rectangle circonscrit, comme 339 : 1000, ou à peu près comme 1 : 3, tandis que la quantité de matière qu'il contient est à celle du prisme, comme 1 : 2. Il n'y a donc pas d'économie à employer le triangle, de préférence à un rectangle. Il en est de même des pièces en *T*.

Lorsqu'on remplace un arbre cylindrique plein par un cylindre creux, et que l'épaisseur du métal est le cinquième du diamètre extérieur, on a

$$\frac{W.\,l}{3,669} = d^3.$$

Ce rapport du cinquième entre l'épaisseur et le diamètre, parait être le plus convenable pour la facilité de l'exécution et pour la résistance à la flexion. Il est plus grand que dans les plantes à tuyaux, que la nature destine à fléchir sous l'action du vent sans perdre leur élasticité. Dans le cas de la formule ci-dessus, la force du cylindre creux est à celle du cylindre plein qui renfermerait autant de matière, comme 1,70 : 1.

Les formules précédentes déterminent les dimensions convenables, pour que les arbres ou les pièces auxquelles elles s'appliquent résistent à la pression qu'elles doivent supporter; mais les axes des machines ont à résister à une autre force qui souvent agit seule et simultanément avec le poids;

je veux parler de la torsion. Lorsque la charge dépassera de beaucoup l'effort qui tend à tordre l'axe, les formules relatives à la pression donneront des dimensions suffisantes pour assurer la solidité ; mais il arrive souvent que des arbres qui n'ont qu'une faible charge à supporter, et même rien que leur propre poids, sont soumis à des efforts de torsion considérables; tels sont les arbres de couche ou de communication, les manchons, les arbres verticaux, etc., etc. Il importe donc d'avoir des formules propres à ce cas; voici celles du même auteur réduites en mesures françaises.

b et d sont toujours, le premier la largeur, le second l'épaisseur ; a est le nombre de degrés de torsion que la pièce dont on calcule les dimensions peut prendre sans nuire à la machine. Lorsqu'elle devra marcher avec précision, on fera au plus $a = 1$, dans les cas ordinaires $a = 2$; s'il y a beaucoup d'engrenage, il faut peu de torsion, et il ne paraît pas qu'il soit avantageux de dépasser dans ce cas 0° 25′ pour les arbres et les axes ; R est le rayon de la pression W.

R et l sont exprimés en mètres, W en kilogrammes, et d en centimètres.

Pour déterminer les côtés d'un axe rectangulaire en fonte, on aura la formule

$$\frac{10,68 . W . l . R}{a} = b^2 d^2 .$$

Si l'axe est carré, on a $b = d$ et

$$\frac{10{,}68.\ W.\ l.\ R}{a} = d^4,$$

Pour un cylindre plein, d étant le diamètre, on a

$$\frac{17{,}98.\ W.\ l.\ R}{a} = d^4.$$

et pour un cylindre creux dont l'épaisseur est le cinquième du diamètre extérieur,

$$\frac{20{,}64.\ W.\ l.\ R}{a} = d^4.$$

Cette dernière formule s'applique aux manchons employés pour communication de mouvement.

Toutes ces formules de l'auteur anglais sont calculées de manière que l'action de la force W ne détruise pas l'élasticité de la pièce qui la supporte, ou, en d'autres termes, n'y produise pas d'altération permanente. Or, comme la charge qui détruirait l'élasticité est toujours moindre que celle qui occasionerait la rupture, quoiqu'elle en soit assez rapprochée, il s'ensuit que les dimensions données par ces formules seront toujours plus fortes que celles d'une pièce dont la même charge produirait la rupture.

Le même ingénieur donne pour les rapports



de la force de différens matériaux à celle de la fonte prise pour unité, les nombres suivans :

Fer forgé.	1,11
Bronze de canons (8 p^{ies}. de cuivre, 1 d'étain).	0,65
Airain.	0,435
Chêne.	0,258
Orme.	0,21
Sapin jaune.	0,28
Pin jaune.	0,25
Sapin blanc.	0,237

Il suit de là que, quand au lieu de fonte on emploiera une des substances ci-dessus, les dimensions à lui donner pour supporter les mêmes charges, seront en raison inverse des rapports ci-dessus.

Après avoir donné le moyen de calculer les dimensions des arbres ou axes, il ne sera pas inutile d'indiquer comment on s'y prend pour les réparer quand ils sont rompus, et qu'on ne peut ou ne veut pas les remplacer pour éviter un long chômage, ou par suite de la difficulté de trouver les pièces convenables.

Le moyen le plus simple consiste à employer une armature en fonte qui, boulonnée et cerclée, lie fortement entr'elles les parties séparées par la fracture. On peut l'employer pour des arbres de

dimensions ordinaires; mais il offre l'inconvénient de surcharger l'arbre précisément à son endroit faible. Lorsque le poids de la roue et ses dimensions sont considérables, il faut recourir à un autre procédé; voici celui que j'ai employé avec succès pour une roue de côté, de 6^m à peu près de longueur, sur $6^m,60$ de diamètre. L'arbre avait au moins 10^m de long sur $0^m,85$ de diamètre. Il était rompu à 4^m à peu près d'une de ses extrémités, par suite de la présence d'un nœud qui, peu apparent à l'extérieur, était très-gros en dedans. La fracture n'était pas encore très-grande, et la roue soutenait l'arbre. Il s'agissait de ne pas démonter la roue; de ne pas remplacer l'arbre, vu la difficulté que l'on aurait eue d'en trouver un pareil, et surtout à cause du temps que cela aurait fait perdre. Je pris le parti de faire appliquer sur quatre des faces opposées de l'arbre, qui était à huit pans, des pièces de bois de $7^m,30$ de longueur sur $0^m,30$ à $0^m,40$ d'équarissage. Elles furent boulonnées ensemble, puis fortement cerclées sur la longueur. Il ne fallut que trois semaines pour faire cette réparation, y compris le temps employé à abattre et à amener les arbres nécessaires; on était cependant dans la mauvaise saison et dans les plus courts jours de l'hiver. Depuis, la roue a continué de marcher sans accident. Il eût fallu trois mois pour mettre un autre arbre.

Des tourillons.— Les tourillons se font le plus souvent à 2, 3 ou 4 ailes que l'on engage dans le bout de l'arbre lorsqu'il est en bois. Cette méthode a le défaut d'affaiblir l'arbre, et d'obliger à le renforcer par un grand nombre de cercles ; en outre, elle facilite sa corruption lorsqu'il est exposé à recevoir de l'eau. Si le tourillon vient à casser, il est très-difficile de le remplacer. Il vaut mieux faire le tourillon avec un manchon à 6, à 8 ou à 10 faces, qui embrasse l'arbre extérieurement, et le consolide au lieu de l'affaiblir ; en dedans du manchon, on peut, pour empêcher le tourillon de tourner sur l'arbre, y ménager 2 ou 3 ailes très-courtes, qui le maintiennent plus fixe. La face qui s'applique sur le bout de l'arbre, doit être évidée en certains endroits, pour qu'on puisse chasser des coins sous le manchon.

Lorsque l'arbre est en bois et creux, on peut mettre le manchon en dedans, en le réunissant aux douves par des boulons.

Si l'arbre est un cylindre de fonte et creux, on alèse intérieurement son extrémité ; on tourne le manchon extérieurement, et on l'introduit à frottement dans le bout de l'arbre, auquel on le fixe par des boulons.

Pour un arbre plein en fonte ou en fer, les tourillons sont toujours de la même pièce que lui.

Dans tous les cas, ils doivent être tournés avec

soin, et, si la chose est possible, après qu'ils sont ajustés sur leur arbre. Les dimensions à leur donner, sont déterminées par les formules suivantes dues à Tredgold.

Soit W la charge en kilogrammes qu'un tourillon de fonte doit supporter, d, son diamètre, et l, sa longueur, exprimés en centimètres, on aura

$$W = 60{,}03\ d^2 \text{ et}$$
$$l = 0{,}854\ d$$

Lorsqu'il sera en fer forgé, on divisera les dimensions trouvées pour la fonte par 1,11, rapport de la résistance du fer à celle de la fonte.

Des coussinets. — Les coussinets sur lesquels reposent les tourillons, sont ordinairement formés d'un alliage de 100 parties de cuivre et de 15 d'étain.

Il faut qu'ils soient durs; mais pas assez pour user le tourillon, parce qu'ils sont plus faciles à remplacer que lui. Ces coussinets reposent sur une pièce en fonte appelée *porte-coussinet*, qui est boulonnée sur une pièce de bois solidement fixée, qu'on nomme *plumard.* Lorsque les roues sont légères et tournent rapidement, il est indispensable de recouvrir les tourillons d'un contre-coussinet, maintenu par une bride ou par un autre porte-coussinet, qui se boulonne sur le premier. Dans tous les cas, il est bon de recouvrir le

tourillon d'un couvercle en bois qui empêche des éclats de pierre, des substances dures, etc., etc., de tomber dessus et de l'user.

Des vannes. — Les vannes sont de deux sortes : les unes laissent passer l'eau par-dessus, les autres par-dessous. En général, on les construit à peu près de la même manière. La différence principale consiste en ce que les secondes reposent sur le seuil du canal, tandis que les premières nécessitent l'emploi d'une fausse vanne, contre laquelle la véritable s'appuie inférieurement, pour fermer le passage à l'eau. La première chose à faire pour construire une vanne, est de déterminer son épaisseur : ses autres dimensions, longueur et hauteur, sont déjà connues par les circonstances de l'établissement de la roue. Si la vanne est en fonte, on se servira de la formule de Tredgold, relative aux plaques qui supportent une pression, réduite en mesures métriques,

$$d^2 = \frac{W}{105,4}$$

dans laquelle d représente des centimètres et W est en kilogrammes la pression exercée sur un centimètre carré de surface.

La pression W du fluide sur la vanne variant avec la hauteur de la charge d'eau, il serait facile de faire voir que les épaisseurs varieraient aussi, et seraient les ordonnées d'une parabole,

dont les hauteurs d'eau seraient les abscisses. Mais, dans la pratique, il n'est pas nécessaire d'observer cette loi mathématique, et l'on prendra pour épaisseur uniforme de la vanne, celle qu'elle doit avoir à la partie inférieure.

Si au lieu d'être en fonte, la vanne devait être en bois (et dans ce cas c'est le chêne que l'on emploie), on obtiendra l'épaisseur qu'il convient de lui donner, en divisant celle que donnerait la formule ci-dessus par 0,258, rapport de la résistance du chêne à celle de la fonte.

Le moyen le plus convenable et le plus régulier d'élever ou d'abaisser une vanne, est le suivant : vers chacune de ses extrémités, on fixe une crémaillère; deux pignons montés sur un même axe horizontal, engrènent avec ces crémaillères, et l'arbre reçoit le mouvement par une manivelle placée à l'une de ses extrémités, ou par un engrenage analogue à un cric et adapté à son milieu, ou enfin par un système de leviers.

C'est selon les localités et la nature du travail, qu'on choisira un de ces moyens. J'ai parlé plus haut, en décrivant la roue en fer de Senones, de la manière de régulariser la marche de la roue, par l'appareil à force centrifuge appelé pendule conique. Il ne me reste plus qu'à rappeler qu'il importe beaucoup, pour éviter les effets de la contraction, de disposer la prise d'eau en avant de la vanne, de manière qu'elle ne présente

aucune saillie, et, si le canal est plus large que la vanne ou que l'on prenne l'eau dans un bassin, il faut avoir soin de garnir le devant de l'ouverture, de pièces de bois arrondies, qui fassent prendre à la veine fluide, avant son passage, la forme qu'elle devrait à la pression latérale de l'eau. Par ce moyen, on évitera la contraction sur les côtés; et si dans les vannes qui laissent passer le fluide en dessous, on a soin que le fond du canal soit exactement dans le prolongement du seuil, on évitera aussi la contraction en dessous; et il ne restera plus que celle qui est due à la pression de l'eau au-dessus de l'orifice.

Des engrenages. — Je ne me propose pas de traiter la question des engrenages dans sa généralité, ni de rechercher quelles sont les courbures les plus convenables pour les différens cas qui peuvent se présenter; cette matière a été approfondie, et plusieurs auteurs en ont donné la théorie complète. Mon but est seulement d'indiquer les procédés pratiques du tracé, et les formules au moyen desquelles on détermine les dimensions des dents. Je commencerai par cette dernière partie du problème pratique.

J'appellerai épaisseur de la dent, l'espace qu'elle occupe sur la circonférence du cercle primitif, cette quantité sera désignée par d; longueur de la dent, sa dimension dans le sens du rayon, depuis son extrémité jusqu'au fond du creux; et

largeur de la dent, sa dimension dans le sens de l'axe de la roue, elle sera représentée par l.

Cela posé, voici les formules de Tredgold; leurs résultats, déduits de l'expérience et de la théorie, s'accordent avec les proportions adoptées par les meilleurs constructeurs anglais, et méritent toute confiance.

Soit W la pression exercée à la circonférence du cercle primitif de la roue, l'épaisseur d d'une dent de fonte sera déterminée par la formule

$$d^2 = \frac{W}{105,4}$$

dans laquelle d représente des centimètres et W des kilogrammes.

Comme il y a de l'avantage à diminuer l'épaisseur des dents, afin de pouvoir augmenter leur nombre, ce qui rend les mouvemens plus doux, on leur donne plus de largeur, pour leur conserver la même force. C'est dans ce but qu'on limite l'effort qu'on fait supporter à une dent, à 400 livres *avoir-du-poids* par pouce de largeur de la dent, ce qui revient en mesures métriques à faire

$$l = \frac{W}{55,29}.$$

La pression W se déterminera facilement, lorsque l'on connaîtra la quantité de mouvement PV transmise par le moteur, et la vitesse à

la circonférence de la roue d'engrenage dont il s'agit.

Pour la facilité du mouvement des dents, il est indispensable de leur donner un peu de jeu ; le rapport de l'épaisseur d'une dent à l'intervalle qui la sépare de la suivante, est celui de 1 à 1,10. Quant à la longueur de la dent, le même auteur donne pour règle, qu'elle ne doit pas dépasser l'épaisseur; non pas que cela influe beaucoup sur sa force, mais pour la facilité de l'échappement et la diminution des frottemens. Afin de laisser un peu de jeu au fond du creux, il conviendra de ne prendre pour la longueur de la courbe de dent, au delà du cercle primitif, mesurée sur le rayon, que 0,4 de l'épaisseur; le reste sera pour le flanc et le jeu.

Les règles ci-dessus sont données pour la fonte grise douce; sa résistance et celle du cuivre jaune étant comme 1 : 0,65, les épaisseurs des dents des roues en cuivre devront être dans le rapport inverse.

Il est d'usage, pour ménager les dents des pignons et par économie, de faire les dents des rouets en bois dur; on emploie habituellement le charme, dont la résistance peut être représentée par 0,30, celle de la fonte étant toujours prise pour unité. C'est d'après cela qu'il faudra déterminer d'abord l'épaisseur des dents en bois; celle des dents en fonte du pignon se trouvera

par là un peu plus forte qu'il ne serait nécessaire, ce qui n'a pas de grands inconvéniens. Cependant pour les machines très-puissantes, comme les dimensions des dents en bois seraient très-grandes, on les abandonne, et on fait aussi les dents du rouet en fonte.

Après avoir assuré, par la force donnée aux dents, la solidité de l'engrenage, passons au tracé. Je m'occuperai d'abord du cas de deux roues planes destinées à transmettre un mouvement circulaire continu. Deux courbures sont particulièrement employées dans ce cas; celle de l'épicycloïde qui jouit de la propriété de conserver l'uniformité de mouvement sans glissement, et celle de la développante du cercle qui conserve l'uniformité d'effort. La théorie de ces courbes est connue, je n'en parlerai pas. Pour tracer la première, l'épicycloïde, je suppose que, *fig.* 7, *Pl.* I, d'après les données, le rapport des rayons des cercles primitifs soit celui de 2 à 5. Soient C et C' les centres de ces cercles, on sait que les dents du cercle C' seront engendrées par le mouvement du cercle oA roulant extérieurement sur le cercle C'. Voici la construction simple que j'ai trouvée pour déterminer le contour de la courbe.

Un arc quelconque du cercle oA s'enroulera sur un arc de même longueur sur le cercle CA. Or le rayon oA étant $\frac{2}{5}$ de CA, si je partage la circonférence oA en 30 parties égales, par exemple,

chacune d'elles sera égale à la 150e. partie de la circonférence CA, et si, 1, 2, 3, etc., etc., et 1', 2', 3', etc., etc., sont les points correspondans de division de ces deux cercles, ils viendront successivement en contact dans le roulement de Ao sur AC; mais dans ce mouvement, le point décrivant A sera toujours à la même distance des points 1, 2, 3, etc., de la circonférence Ao dont il fait partie; donc si des points 1', 2', 3', etc., comme centre, avec les rayons A 1, A 2, A 3, etc., etc., on décrit des arcs de cercle, la suite des intersections ou l'enveloppe de ces arcs de cercle sera l'épicycloïde cherchée. On peut même déterminer sur chacun d'eux la position précise du point décrivant; car il est évident qu'à l'instant du contact de 1 et de 1', le point A sera à une distance de C égale à C 1; si donc avec cette longueur pour rayon, on décrit du centre C un arc de cercle, il viendra couper celui qu'on a tracé du centre 1' avec A 1 pour rayon, en un point qui sera la position cherchée de A correspondante au contact en 1'. Il en sera de même pour tous les autres contacts.

Le cercle Ao tournant ensuite dans le cercle CA, chacun des points de sa circonférence engendre un rayon, et c'est le rayon AC décrit par le point A, qui sera conduit par la courbe épicycloïde que le même point a parcourue lorsque Ao a roulé sur CA. La dent à placer sur le cercle

C'A serait de même engendrée par le roulement d'un cercle d'un rayon égal à ½ CA, sur le cercle CA, et la droite correspondante dans le cercle C'A serait le rayon C'A. Ainsi, sur chacun des cercles primitifs les dents se composent d'une portion courbe en dehors du cercle, et d'une portion droite en dedans, appelée *flanc*, et la courbe de chaque dent conduira le flanc de l'autre et réciproquement. Je ne suis entré dans ces détails déjà connus, que pour faire remarquer la différence de l'engrenage à épicycloïde à celui où l'on emploie les développantes de cercle, et dont voici le tracé.

Fig. 8, *Pl.* I. La distance CC' des centres étant partagée en deux parties C A et C' A, dans le rapport des vitesses angulaires que l'on veut obtenir, on mène une ligne droite $m\,n$ qui fasse un assez grand angle avec CC', de 80° à 85°, par exemple, et des centres C et C', on décrit deux circonférences de cercle tangentes à cette ligne $m\,n$; ce sont les deux cercles primitifs à développer. La courbe décrite par le point A dans le développement de chacune de ces circonférences, est facile à tracer, au moyen d'un fil que l'on enroule sur le cercle, et dont l'extrémité est armée d'un crayon ou d'une pointe.

Ici les dents n'ont pas de flanc, et se conduisent l'une l'autre; remarquons de plus que la développante passe en dehors de l'épicycloïde, qui

serait tracée sur le même cercle par la méthode indiquée plus haut ; cela est évident d'après la génération de la courbe.

Après avoir donné la construction rigoureuse de ces deux engrenages, comparons-la au procédé pratique employé par la plupart des artistes.

Fig. 9, *Pl.* I. Le nombre et l'épaisseur des dents étant déterminés, on marque sur chaque cercle primitif l'emplacement des naissances de chaque dent $a\ a'$, $b\ b'$, $c\ c'$, etc., etc. Si les cercles primitifs sont de diamètres très-différens, comme 2 et 5, on trace du point b comme centre, et du rayon ba, un arc de cercle qui sera la courbe de la dent $a\ a'$; si la différence des diamètres est moindre, on prend le centre de cet arc à la deuxième dent, après $a\ a'$, et le rayon est égal à ca. Il est évident que l'arc de cercle par lequel on remplace ainsi l'épicycloïde ou la développante du cercle, sera compris entre celles-ci, au moins jusqu'à une certaine distance de la naissance ; car le rayon de cet arc étant la corde du grand cercle, il se trouve plus grand que celui du cercle correspondant qui aurait servi à tracer l'épicycloïde, puisqu'il appartient à un arc de même longueur réelle, mais d'une courbure moindre ; d'une autre part, ce rayon ba ou ca est plus petit que celui de la développante correspondant au même point, puisque celui-ci

a pour longueur l'arc dont l'autre est la corde. Ceci est pour les grands rouets; quant aux pignons, lorsque le diamètre sera moindre que le rouet, le dernier tracé laisserait les deux courbes théoriques en dehors, mais se confondrait sensiblement avec elles près de la naissance. Il suit de là qu'il n'y a pas d'inconvéniens à adopter le tracé des artistes, qui est beaucoup plus simple que celui de la théorie. Il est d'ailleurs facile de vérifier par un tracé en grand fait avec soin, que, pour des dents très-courtes, comme on doit les faire, la différence est si petite, qu'elle échappe aux procédés graphiques. C'est donc ce moyen pratique que l'on devra adopter pour les engrenages destinés à transmettre un mouvement circulaire plan.

On nomme *pas* la distance du milieu d'une dent au milieu de celle qui la suit; cet intervalle est évidemment égal à l'épaisseur de la dent, plus l'espace qui la sépare de la suivante, lequel est l'épaisseur augmentée d'un dixième; ainsi, d étant toujours l'épaisseur, le pas sera

$$2,10.\ d,$$

et il arrivera que cette longueur ne sera presque jamais contenue un nombre exact de fois dans la circonférence des cercles primitifs; voici ce qu'on doit faire alors. On divisera la circonférence d'un des cercles primitifs par $2,10.\ d$, ou trou-

vera pour quotient un nombre entier plus une fraction; on négligera la fraction, on divisera la circonférence par le nombre entier trouvé, ce qui donnera une nouvelle valeur du pas, un peu plus grande que la première, ce qui n'a pas d'inconvénient. Comme le rapport des vitesses angulaires, et par suite celui des rayons, est presque toujours, ou peut devenir, un nombre entier, le nouveau pas sera nécessairement contenu un nombre exact de fois dans la circonférence de l'autre cercle primitif.

Fig. 11, *Pl.* I. Le tracé des engrenages coniques, destinés à transmettre le mouvement circulaire, se déduit facilement des règles précédentes. On commencera d'abord par calculer l'épaisseur des dents et leur largeur d'après les formules données plus haut. Connaissant le rapport des vitesses, et par suite celui des rayons, on cherchera, comme je viens de le dire, la longueur du pas. Cela fait, comme les couronnes qui portent les dents doivent être terminées par des surfaces coniques perpendiculaires à celle des dents, pour qu'il y ait uniformité et point excès de force, on déterminera facilement les points S' et S'', sommets de ces nouvelles surfaces coniques, que l'on développera sur une surface plane, et les cercles primitifs CT et $C'T$ des deux roues d'angle seront en développement, représentés par des arcs de cercle, sur lesquels on opérera le tracé comme

s'il s'agissait d'engrenages plans. Si la surface qui a reçu le tracé est en tôle mince ou en carton, il sera facile de l'envelopper sur la surface conique extérieure de la roue d'angle correspondante, et de reporter ainsi le trait fait en développement sur la surface elle-même. On pourra de même développer le cercle primitif de la surface conique intérieure de la roue d'angle, y construire les dents et les rapporter sur la surface même, en ayant soin, au moyen de repaires et de divisions marqués d'avance, que les points analogues se correspondent bien; on aura ainsi tout le tracé rapporté sur chaque roue.

Les courbes de dents qui résulteront de cette opération ne seront pas tout-à-fait des épicycloïdes ou des développantes de cercle sphériques; mais la différence sera peu sensible dans la pratique.

On peut aussi tracer les dents sur le modèle même, d'après la méthode indiquée pour les engrenages plans; mais il est plus expéditif de développer les surfaces et de rapporter les dents sur le modèle, au moyen de panneaux.

Lorsque le rayon de l'un des cercles primitifs des engrenages plans devient infini, l'épicycloïde de l'autre devient une développante de cercle. Ce cas est celui où il s'agit de transformer un mouvement circulaire en rectiligne. Il se présente dans la construction des machines soufflantes à

pistons, des pilons, etc., etc. Je vais donner la manière de tracer une came destinée à faire marcher des soufflets à piston dont la tige est verticale; il sera facile de déduire des règles que j'établirai celles qui sont relatives aux autres cas.

Le mouvement des pistons, qui sont ordinairement au nombre de deux, doit être réglé de manière que l'un monte quand l'autre descend; mais si l'un des deux commençait son ascension quand l'autre finit la sienne, il y aurait à ce moment même une interruption dans la production du vent; c'est pour éviter cet arrêt que l'on fait monter les pistons pendant les $\frac{5}{8}$ de la révolution de la came, et qu'ils descendent pendant les trois autres huitièmes.

Le piston dans sa descente est soutenu par une autre courbe; mais, comme elle doit donner la même amplitude de mouvement dans $\frac{3}{8}$ de révolution, que la courbe ascendante dans $\frac{5}{8}$, il est évident que si on voulait que cette courbe fût aussi une développante de cercle, il faudrait que le rayon du cercle développé pour l'engendrer fût plus grand que celui de la première courbe. Il s'ensuivrait que la tige du piston dans sa descente ne serait pas tangente à ce dernier cercle développé, ce qui ferait perdre l'avantage principal de cette courbe; et, comme il en résulterait moins de facilité pour le raccordement, il faut abandonner la développante et la remplacer par

une spirale quelconque qui adoucisse et soutienne la descente. J'en indiquerai une plus loin.

Le raccordement de ces deux branches du côté de leur naissance se fait par une courbe à peu près arbitraire, et produit toujours une certaine perte sur l'amplitude du mouvement. Il faut, en conséquence, compter d'avance sur cette diminution; c'est pourquoi nous verrons tout à l'heure qu'il faut développer $\frac{2}{3}$ du cercle, bien qu'il n'y en ait que $\frac{1}{2}$ d'utilisés.

Il est facile de trouver maintenant le rayon du cercle à développer, pour obtenir d'une portion de sa circonférence une amplitude donnée. En effet, dans le cas présent, on aura pour déterminer ce rayon r, l'équation

$$\tfrac{2}{3}\, 2\pi r = H,$$

H étant l'amplitude à obtenir; d'où l'on tire, en mettant pour π sa valeur 3,14,

$$r = 0,255\, H.$$

Fig. 10, *Pl.* I. Une construction graphique très-simple peut aussi donner r. On sait en effet que les cercles sont des figures semblables; or les amplitudes du mouvement produit par les développantes étant égales aux arcs développés; il s'ensuit que les rayons sont proportionnels à ces amplitudes; voici la construction qui en résulte.

Décrivez un cercle quelconque Ca, développez-en $\frac{1}{8}$, pour le cas dont il s'agit ici, vous aurez une amplitude de; depuis le point e portez sur ed la longueur ef de l'amplitude que vous voulez obtenir par le développement des $\frac{1}{8}$ de la circonférence dont vous cherchez le rayon; il est évident que la perpendiculaire fg sur de, sera le rayon cherché.

A l'origine de la développante, le rayon générateur étant encore très-petit, la courbure est très-rapide, ce qui gêne dans la pratique pour le raccordement avec la branche descendante; c'est pour cela qu'il est bon de développer $\frac{2}{8}$ du cercle et de prendre pour partie utile de la courbe la différence hi de l'amplitude totale, à l'arc ah produit par le développement du premier huitième du cercle.

Supposons que cette courbe hi convienne au mouvement que nous voulons produire, et traçons la courbe descendante.

Je prends le point a pour origine de cette courbe qui doit se terminer au point i. Je mène la ligne ci, et je partage cette ligne et l'arc de cercle ak en un même nombre de parties égales, en huit par exemple. Je mène les rayons $C1$, $C2$, $C3$, etc., du point C comme centre, et avec les longueurs $C1'$, $C2'$, $C3'$, etc., etc., pour rayons, je décris des arcs de cercle qui coupent les rayons $C1$, $C2$, $C3$, etc., aux points 1, 2,

3, etc., qui appartiennent à une courbe de l'espèce des spirales, et que je prends pour la courbe descendante. Au moyen d'une courbe concave quelconque tangente en *h* à la développante, et en un point quelconque, à la spirale que je viens de tracer, on raccorde les deux branches vers leur naissauce; on a soin aussi d'abattre l'angle vif en *i* pour que le passage de la montée à la descente ne soit pas trop brusque.

Après avoir tracé ainsi les deux branches de la came, il faut vérifier dessus, quelle sera l'amplitude exacte du mouvement qu'elle produira, parce que les raccordemens apportent une légère différence à ce que produit la développante. Cette précaution est nécessaire ponr pouvoir disposer les caisses ou les cylindres, de manière que le piston arrive aussi près que possible de leur fond, ce qui est indispensable pour éviter la compression de l'air entre le piston et le fond du soufflet. Par le même motif, il faut que la face du piston qui est du côté du fond soit entièrement plane, et qu'aucun boulon n'y soit en saillie.

Il ne suffit pas d'avoir donné dans un plan les meilleures formes aux différens organes de transmission, il faut encore en surveiller la bonne exécution, et l'une des choses les plus importantes est la confection des modèles. Les procédés pratiques en sont simples, mais ils doivent être appliqués avec soin.

Les modèles, quand ils sont grands, se font ordinairement en bois blanc, pour qu'ils soient moins lourds; mais pour les petites pièces qui sont très-contournées, on prend de préférence du bois à fibre courte; il importe qu'il soit très-sec pour qu'il ne se tourmente pas. Dans le tracé d'un modèle, il faut, autant que possible, éviter les angles droits ou aigus, surtout ceux qui sont rentrans; on les remplacera par des angles obtus, ou mieux encore par des arrondissemens.

On doit toujours tenir le modèle plus fort que la pièce que l'on veut obtenir, à cause du retrait que la fonte prend par le refroidissement. On estime ce retrait à 0,001; il varie peu avec l'espèce de fonte; on voit que dans la plupart des cas il est sans importance; cependant, lorsque les pièces doivent avoir des dimensions exactes ou doivent être ajustées, on tient le modèle plus fort. C'est le cas des engrenages; ainsi dans ce cas, au lieu de faire dans le modèle le creux plus grand d'un dixième que l'épaisseur de la dent, on le fait égal à la moitié du pas $2,10\,d$; et après la coulée on enlève à la dent ce qu'elle a de trop.

Les modèles doivent avoir de la dépouille, c'est-à-dire que leurs faces seront légèrement en talus, pour qu'elles occupent moins de place au fond du moule qu'en haut; ce qui permet de les retirer sans endommager le moule. Cette dépouille se donne quand le modèle est fini; on

doit avoir soin de le tenir un peu trop fort en conséquence.

Il importe aussi de disposer avec soin les jets et les évents, pour que l'air et le métal en fusion ne se mêlent pas, ce qui occasionerait des soufflures toujours nuisibles.

Lorsque les modèles sont finis, on les noircit avec de la plombagine, qui leur donne un certain poli et les empêche d'adhérer au sable du moule.

La première chose à faire quand on reçoit des pièces coulées, c'est de les désabler, c'est-à-dire, d'en détacher le sable du moulage qui y est adhérent, puis on procède à l'ajustage. Sans entrer dans beaucoup de détails, je crois devoir indiquer la manière dont on s'y prend pour retracer les engrenages. Supposons qu'il s'agisse d'un pignon de *champ* : sur celle des deux faces qui est le mieux dressée, on colle une bande de papier qui dépasse les dents et les creux ; dans le trou de l'arbre on adapte une planche qu'on y fixe solidement, et dont le dessus est dans le plan de la face. On prend le milieu de plusieurs dents opposées, on tire les diamètres qui les joignent. L'intersection de plusieurs de ces lignes donne le centre du pignon, d'où l'on trace sur le papier le cercle primitif ; c'est ce cercle qu'on divise en autant de parties qu'il y a de dents ; la division doit être faite avec le plus grand soin et vérifiée à plusieurs reprises.

Lorsque les milieux des dents sont ainsi déterminés, on porte à droite et à gauche leur demi-épaisseur, non pas toujours exactement celle que le calcul a donnée, mais celle qui s'accorde le mieux avec toutes les dents du pignon, qui quelquefois ne sont pas toutes égales, par suite d'un mouvement de la fonte dans le moule. Cela fait, par tous les points de naissance des courbes ainsi déterminés, on tire des rayons qui donnent les flancs, puis, du bord de la deuxième ou de la troisième dent à droite ou à gauche de celle que l'on veut tracer, comme centre, et avec un rayon égal à la distance de ces naissances, on décrit un arc de cercle que l'on prend pour la courbe de dent. Le même rayon sert à tracer toutes les dents du pignon.

Quelquefois on refait le même tracé sur l'autre face en le raccordant avec soin au premier; mais il est plus simple et suffisamment exact de coller de nouvelles bandes de papier sur la longueur des dents, de mettre la face tracée bien de niveau, et, au moyen du fil à plomb, de tirer les lignes milieux des dents, de reporter la demi-largeur au bord à droite et à gauche de ces lignes, et de tracer les arêtes extérieures des dents.

On voit combien cette opération demande de soin; aussi, dans plusieurs établissemens où l'on se pique d'apporter beaucoup de régularité dans les constructions, on commence par dresser au

tour une ou même les deux faces de la roue, et c'est alors qu'on y fait le tracé sur le métal même, au moyen d'une pointe. Quand la fonte est de seconde fusion et qu'elle est bien dépouillée, comme celle des Anglais, on trace aussi directement sur le métal.

Un ouvrier exercé achève les pièces en enlevant au ciseau et à la lime ce qu'il y a de trop aux dents.

Quant aux grands rouets qui sont composés de 3, 4 ou même un plus grand nombre de secteurs, on les met en chantier et on en assemble les parties avec beaucoup de soin. On sait qu'ordinairement on fait les dents en bois, et qu'on se sert de charme. Elles doivent être débitées long-temps à l'avance et conservées dans un lieu bien sec. Au moment de les employer, on les fait tremper dans de l'huile bouillante qui facilite beaucoup leur introduction dans les trous qui leur sont ménagés à la circonférence. On ne les y place que quand le rouet est sur son axe : cela se fait à l'aide d'un mouton à bras avec lequel on les chasse avec force. Lorsqu'elles sont toutes enfoncées, on les scie à leur longueur, que l'on a marquée en faisant tourner la roue, puis à l'aide d'un gabarit sur lequel sont découpées six ou huit dents, on les trace toutes exactement.

Lorsque les dents des grands rouets sont en fonte, on doit avoir soin de couler à part la jante

qui les porte, et on l'ajuste sur les bras, à l'aide de boulons; par ce moyen, on obtient plus d'exactitude, parce que de grandes pièces sont plus sujettes à se gauchir que de petites; et si quelque dent casse, on n'a qu'une jante de peu de poids à remplacer.

Pour les cames ou grandes courbes excentriques, on vérifiera et l'on ajustera leur courbure, soit au moyen du modèle même, soit avec un gabarit, sur lequel on tracera la courbe.

L'entretien des engrenages et de toutes les parties sujettes à des frottemens, exige beaucoup de soin; il importe que chaque jour on renouvelle la graisse, au moins une fois. On se sert, à cet effet, d'un mélange de suif et de $\frac{1}{4}$ de graisse de porc que l'on fait fondre ensemble, et auquel on ajoute $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{6}$ de plombagine.

Des volans.—Le but que l'on se propose dans l'emploi des volans, est d'accumuler une certaine quantité de mouvement pour la restituer au système de la machine dans les instans où les variations d'intensité et de direction dans la puissance ou dans la résistance, produiraient une altération nuisible dans sa marche.

Cette propriété régulatrice du volant est due à son inertie, dont le moment est d'autant plus grand que sa vitesse de rotation, son rayon et sa masse sont plus considérables. En recherchant l'expression de la force vive d'un volant,

formé d'un anneau en fonte, et négligeant dans le calcul celle que possèdent les bras que l'on fait ordinairement aussi faibles que possible, on trouvera qu'elle a pour valeur

$$\frac{P\omega^2R^2}{g} \text{ ou } \frac{PV^2}{g},$$

P étant son poids, ω la vitesse angulaire, R le rayon moyen de l'anneau, V sa vitesse à la circonférence, et g la gravité (1).

On voit par là que cette force vive est proportionnelle au poids, au carré de la vitesse angulaire et à celui du rayon. Il est donc avantageux d'employer une matière pesante, et surtout d'augmenter la vitesse angulaire et le rayon; mais la résistance de l'air croissant aussi proportionnellement au carré de la vitesse, il y aura plus d'avantage à augmenter le rayon.

L'établissement des volans destinés à régulariser l'action du moteur, comme dans les machines à vapeur, peut être plus facilement soumis à des règles, que quand il s'agit de remédier aux inégalités de la résistance, comme dans les laminoirs, etc. Dans ce dernier cas, les variations sont inhérentes à la nature du travail, et changent par conséquent avec le genre d'usine à établir; aussi la théorie, et même la pratique, ne

(1) Poncelet, Cours de mécanique appliquée aux machines, page 42, cahier de l'école de Metz.

donnent-elles guère de règles fixes à ce sujet. Mais lorsqu'il s'agit de régulariser la transformation du mouvement rectiligne alternatif du piston d'une machine à vapeur en mouvement circulaire continu, la question devient plus simple et peut être résolue par la théorie. MM. Navier et Poncelet l'ont traitée de la même manière, en appliquant le calcul aux manivelles à simple et à double effet. Le dernier, dans le cours que j'ai cité plus haut, parvient à des formules commodes pour les applications numériques; sans répéter ses calculs, je vais en indiquer les résultats.

P étant toujours le poids du volant, *V* sa vitesse à la circonférence, *n* le rapport que l'on veut établir entre la vitesse moyenne du volant et la différence de sa plus grande à sa plus petite vitesse effective, *m* le nombre de tours faits par minute, *N* la force de la machine exprimée en nombre de chevaux, équivalent, chacun à $75^{kil.m.}$; il trouve entre ces quantités la relation,

$$P V^2 = \frac{24,324}{m} . n N$$

pour une manivelle ou machine à simple effet.

Pour les machines à double effet, la formule est

$$P V^2 = \frac{4,645}{m} . n N.$$

Remarquons que, dans ces deux équations, les

quantités à déterminer sont le poids et la vitesse qui ont respectivement pour expression

$$P = 2\pi R e . l . d,$$

e étant l'épaisseur de l'anneau dans le sens de l'axe, l la largeur dans le sens du rayon, d la densité de la matière employée; et

$$V = \omega R,$$

ω étant la vitesse angulaire; elle dépend de m et est toujours connue, puisque le volant doit être placé sur l'axe qui marche le plus vite; R est le rayon moyen.

On tirera de ces formules la valeur de R, lorsqu'on se sera donné e et l, et que la matière du volant sera connue; on sait que c'est ordinairement la de fonte.

Buchanan, mécanicien anglais, donne pour l'établissement des volans des machines à vapeur, la règle pratique suivante:

« Pour obtenir en quintaux le poids du volant » d'une machine à vapeur, il faut multiplier par » 2000 le nombre de ses chevaux de force, et » diviser le produit par le carré du nombre de » pieds parcourus en une seconde par l'anneau » du volant. »

M. Poncelet a comparé cette règle à la formule qu'il donne pour les machines à double effet,

et il trouve qu'elle suppose $n = 30$; c'est-à-dire, que la différence entre la plus grande et la plus petite vitesse est le 30ᵉ. de la vitesse moyenne, et il regarde cette valeur comme dépassant les besoins de l'industrie. M. Navier pense que la valeur $n = 15$, suffit dans presque tous les cas de la pratique.

Les mêmes formules s'appliqueraient au cas où l'on voudrait régulariser le mouvement des pompes dont le moteur aurait un mouvement circulaire continu.

On voit, d'après ce qui précède, que la théorie des volans est très-peu avancée, et que jusqu'ici la pratique n'a pas donné de règles fixes pour les établir. Il serait à désirer que l'emploi d'un régulateur si utile fût étudié avec soin, et soumis à des principes fondés à la fois sur l'expérience et sur la théorie.

QUATRIÈME PARTIE.

APPLICATIONS.

Établissement d'une scierie circulaire. — *Pl.* II. Avant de m'occuper des dispositions particulières de cette scierie, je vais rechercher la quantité d'action consommée dans le sciage du

bois, puisque c'est d'après cela que la force à employer sera déterminée.

Bélidor, dans son Architecture hydraulique, donne pour résultat de ses expériences que trois hommes appliqués à une scie, deux en bas et un en haut, peuvent scier dans une heure une pièce de bois de chêne vert de 12 pouces d'épaisseur sur une longueur de 10 pieds; et, comme ils travaillent 12 heures, cela fait 120 pieds carrés par jour ou $12^{mq},954$, ce qui revient à $0^{mq},0058$ par minute et par homme.

Hassenfratz donne pour le même travail $0^{mq}.006$ par minute et par homme.

A l'arsenal de Strasbourg, trois scieurs de long obtiennent 12 mètres carrés par jour dans du chêne vert, ce qui donne à peu près le même résultat que Bélidor.

Nous admettrons celui d'Hassenfratz, qui n'en diffère guère et qui est plus simple en chiffres.

Les scieurs de long donnent cinquante coups par minute et élèvent la scie de $0^{m},80$.

Hassenfratz estime l'effort des scieurs à 15 kil. chacun par coup; ce qui, avec la durée du travail, qui est de douze heures, donnerait pour quantité d'action journalière $396,000^{kil.\times m.}$

M. Navier observe avec raison que ce résultat est trop fort. Voici comment il le réduit : La scie des scieurs de long pèse, toute montée, 6 kil. 50 environ; celui qui est en haut la sou-

tient presque seul, et quand elle redescend, les deux hommes placés en bas font effort, et il estime que cet effort est à peu près le même que celui de l'homme du haut.

Je me suis effectivement assuré que ce dernier ne fatigue pas plus que les deux autres; il paraît même, au contraire, qu'il y a avantage en sa faveur, parce que, dans la levée de la scie, ceux du bas l'aident un peu, et que dans la descente il peut augmenter beaucoup l'effort qu'ils ont à faire en donnant plus ou moins à mordre à la scie. Nous supposerons toutefois qu'il lève la scie à lui seul, ce qui tend à estimer un peu trop haut l'effort nécessaire pour le sciage, et cela n'a pas d'inconvénient.

J'ai aussi vérifié que les scies ne pèsent que 6 kil. à 6 kil. 50.

D'après cela, on peut donc, avec M. Navier, réduire de moitié l'estimation d'Hassenfratz; ce qui donne pour la quantité d'action journalière dépensée par chaque scieur de long en 12 heures, 187,200 kil. m. ou par minute 260 kil. m. Remarquons avec le même auteur, que cette quantité d'action dépasse celle d'un homme qui fait tourner une manivelle, laquelle n'est que de 116,000 kil. m., bien que le travail de la manivelle ne soit pas aussi pénible que celui des scieurs de long; mais cela tient à ce qu'en général ces derniers sont des hommes forts et exercés.

Les quantités d'action dépensée par minute étant 260 kil. m., et donnant pendant ce temps 0m. q.,006 de surface de sciage, il s'ensuit qu'un trait de scie d'un mètre carré de surface dans du chêne vert consommera un quantité d'action égale à 43,333 kil. m.

Bélidor a reconnu par expérience que du bois sec offre une résistance double de celle du bois vert, et que la quantité de bois blanc à celle de bois de chêne sciées en temps égaux, sont dans le rapport de 7 à 5.

Cette mesure de la quantité d'action nécessaire pour le sciage à bras d'homme, doit approcher beaucoup de la vérité, mais elle est cependant exagérée. Remarquons, en effet, que par la nature même du mode d'exécution, le mouvement est alternatif; et bien que la vitesse de la scie diminue par degrés insensibles avant chaque changement de direction, ce qui est, commme on sait, la condition indispensable pour éviter les pertes de force vive, la dégradation de cette vitesse n'est pas tout-à-fait continue, et il est rare que les trois hommes accordent leurs mouvemens avec une précision telle qu'il n'y ait pas toujours un peu de brusquerie dans le changement de direction, et par suite perte de force vive. On peut donc être sûr qu'en prenant la force nécessaire pour exécuter un mètre carré de sciage égale à 43,333 kil. m., on sera

au-dessus de la force réellement dépensée par ce travail.

Maintenant, si l'on part de cette base et qu'on applique le calcul aux scieries ordinaires à mouvement alternatif, on verra combien elles sont défectueuses, par la nature même de leur disposition. Je ne répéterai point ici les calculs de M. Navier, sur la scierie de La Fère, construite par Bélidor : on les trouvera dans la note *ek*, page 510 de l'Architecture hydraulique; j'en rappellerai seulement les résultats.

La roue était à aubes, et en y appliquant la formule,

$$PV = \tfrac{1}{6} \cdot 1000 \Omega H \sqrt{2gh}$$

il trouve qu'elle devait transmettre une quantité d'action égale à 342 kil. m. par seconde. Elle exécutait une surface de sciage de $0^{m.q.}002{,}638$ par seconde, ce qui consommait une quantité d'action égale à 114 kil. m., c'est-à-dire seulement le tiers de la force transmise par la roue; les deux autres tiers étaient absorbés par le frottement, mais surtout par les pertes de force vive qui sont toujours très-considérables à chaque changement de direction des châssis, par suite du poids excessif qu'on leur donne. M. Navier démontre que le poids de la scie et de son châssis doit être égal à la moitié de la quantité de mouvement nécessaire au sciage, afin que la machine ait autant d'effort à faire

pendant la descente de la scie que pendant la montée. Or, dans la scierie de La Fère, ce poids qui, d'après la surface de sciage exécutée, aurait dû être seulement de 60 kil., était de 168 kil., d'où résultait à chaque coup un choc considérable.

C'est à cause de la perte de force vive si grande, qui se fait dans les scieries mécaniques ordinaires, qu'on arrive à un résultat si défavorable pour l'emploi des chevaux à ce genre de travail. On trouve, en effet, qu'un cheval appliqué à une scierie, au moyen d'un manége, ne fait que le travail de trois scieurs de long. En effet, l'effort d'un cheval est de 80 kil. m. par seconde, et d'après l'expérience, le manége ne transmet guère que la moitié de cette quantité de mouvement, c'est-à-dire, 40 kil. m., sur lesquels la scierie perd les $\frac{2}{3}$; il n'y a donc que $\frac{40}{3}$ kil. m. ou 13,33 kil. m. d'utilisés; or, la quantité d'action dépensée par un scieur dans une minute est 260 kil. m. ou dans une seconde 4,33 kil. m. et pour les trois scieurs 13,32 kil. m., ce qui revient à la quantité utilisée par la scierie à manége.

Il y aurait certainement moyen de diminuer ces chocs si nuisibles, par un bon tracé d'organes de transmission, et les cames à développantes de cercle sont très-convenables pour cet usage; mais, quelque soin qu'on y apporte, on ne parviendra jamais à en détruire complétement l'ef-

fet; aussi devrait-on abandonner tout-à-fait ces sortes de scieries pour leur substituer les scies circulaires.

Dans les scieries ordinaires la vitesse est limitée, parce que la perte de force vive augmente à raison du carré de cette vitesse. Ces scieries ne font en général que 48 oscillations par minute, et s'élèvent chaque fois de $1^m,40$ à $1^m,60$, ce qui correspond à une vitesse moyenne de $1^m,11$ à $1^m,28$ par seconde. La vitesse des scies continues n'a d'autre limite que celle donnée par la solidité des dents et la crainte de les échauffer. Mais, comme il y a des scieries dont la scie donne jusqu'à 80 coups par minute en parcourant $2^m,16$ par seconde, et dont la plus grande vitesse est de $3^m,35$, il s'ensuit qu'on peut donner au moins pour vitesse moyenne à la circonférence d'une scie circulaire 3^m par seconde.

Le produit d'une pareille scie sera, à vitesse égale, double de celui d'une scierie ordinaire, puisqu'elle travaille continuellement; il augmentera ensuite dans le rapport des vitesses.

Calculons, par exemple, la quantité dont le chariot s'avancera par seconde, et la quantité de surface de sciage exécutée dans le même temps.

Dans une scierie ordinaire la scie faisant, comme je l'ai dit, 48 oscillations par minute, a une vitesse moyenne de $1^m,11$. Le chariot avance de 6 po. ou $0^m,162$ par minute, ou de $0^m,0027$ par

seconde, dans une pièce de bois de $0^m,32$ d'épaisseur. Dans une scierie circulaire, la vitesse de la pièce sera d'abord doublée, parce que la scie travaille toujours; elle sera de plus augmentée dans le rapport $\frac{3}{1.11}$ des vitesses moyennes des scies. Il s'ensuit donc que le chariot parcourra dans une seconde un espace égal à

$$0^m,0027 \times 2 \times \frac{3}{1.11} = 0^m,014.$$

L'épaisseur de la pièce étant $0^m,32$, la surface de sciage exécutée sera dans une seconde,

$$0^{m.\ q.},00448,$$

et la force consommée par ce travail sera,

$$0^{m.\ q.},00448 \times 43333^{\text{kil. m.}} = 194^{\text{kil. m.}},13$$

en augmentant cette force d'un septième, pour tenir compte des frottemens, la force que la roue hydraulique devra transmettre, sera de $222^{\text{kil. m.}}$ par seconde.

Si la chute est assez forte pour qu'on puisse établir une roue en dessus, ce qui est le cas général des scieries, parce qu'elles sont ordinairement établies dans les pays de montagnes, la formule à employer sera celle des roues à augets, et l'on aura,

$$222^{\text{kil. m.}} = \frac{4}{5} . 1000\, Q \{ H - \frac{4}{5} h \}$$

h doit être théoriquement égal à $0^m,2$, puisque

la vitesse de la roue, pour le meilleur effet, sera de 1^m; soit $H = 4^m,30$; j'introduirai seulement dans la formule $H = 4^m,20$, pour avoir un peu de latitude pour le jeu de la roue et les variations du niveau; cette petite altération de H n'a d'autre effet que d'augmenter la valeur de Q, ce qui n'a aucun inconvénient. On tire par ces substitutions $Q = 0^{m.c.},0676$.

La vanne étant en déversoir, la formule d'écoulement sera $Q = 1,95 . l h^{\frac{3}{2}}$.

Soit $h = 0^m,10$, on a $Q = 0^{m.c.},0676$: on tirera donc de l'équation ci-dessus

$$l = 1^m,096.$$

Je fais dans la pratique $l = 1^m,20$.

La hauteur du niveau de l'eau au-dessus du sommet de la roue devant être $0^m,20$, comme je l'ai dit, il me reste $0^m,10$ disponible pour la pente du canal qui amène l'eau; cependant, pour avoir plus de latitude, je ne donnerai à ce canal que $0^m,05$ de pente, ce qui, joint à la différence entre la valeur réelle de $H = 4^m,30$, et celle $4^m,20$ que j'ai introduite dans la formule, me donnera $0^m,15$ pour le jeu indispensable de la roue et les petites variations accidentelles du niveau de l'eau.

Roue hydraulique. — Le diamètre de la roue hydraulique sera égal à 4^m.

La capacité A des augets se déduira de la formule

$Q = \frac{V}{d} \cdot \frac{1}{4} \cdot A$; en y faisant $Q = 0^{m},0676$, $V = 1^{m}$ et $d = 0^{m},30$, on tire

$$A = 0^{m.c.},0338 ;$$

et si l'on appelle S la surface du profil des augets, on a

$$A = S l, \text{ d'où}$$
$$S = \frac{A}{l} = 0^{m.q.},028.$$

Je supposerai que les augets sont en tôle, et je les tracerai par la méthode indiquée à l'article des roues à augets; je tirerai la valeur de e de la formule

$S = \frac{7}{4} e d$; en y faisant $S = 0^{m.q.},028$ et $d = 0^{m},30$, on trouve

$$e = 0^{m},125.$$

Pour déterminer le point où les augets commenceront à se vider, je me servirai de la formule

$$ex = \frac{1}{4} S,$$

qui, dans le cas actuel, donnera

$$x = 0^{m},179,$$

et la figure indique que cette valeur de x correspond à une hauteur de $1^{m},20$ au-dessous du

centre de la roue; ainsi les augets ne commencent à se vider qu'au delà des $\frac{4}{5}$ du diamètre.

Quant au diamètre moyen de la roue, il sera égal à 3^m,824; c'est d'après ce diamètre et la vitesse de 1^m par seconde à son extrémité, que je vais calculer les dimensions des organes de transmission.

Organes de transmission. — Au lieu d'engrenages pour transmettre le mouvement à la scie et au chariot, j'emploirai des courroies en cuir passant sur des tambours, parce que leur élasticité se prête aux inégalités de résistance que peuvent offrir les différentes parties du bois. Le calcul des rayons des tambours ou des poulies est facile à faire.

En effet, soient V et v', D et d' les vitesses et les diamètres respectifs de la roue hydraulique et de la poulie ou du tambour monté sur l'axe de cette roue, v'' et d'' les quantités analogues pour une poulie, sur l'axe de laquelle la scie est montée et qui reçoit le mouvement de la 1re.; on aura

$$\frac{V}{D}=\frac{v}{d'}=\frac{1}{3,834}.$$

D'autre part, en donnant à la scie un diamètre de 2^m, sa vitesse à la circonférence devant être égale à 3^m, on aura

$$\frac{v''}{d''}=\frac{3}{2}$$

et comme d'ailleurs $v' = v''$, on a, en remplaçant dans la 1re. équation v' par sa valeur $v' = v'' = \frac{2}{3}. d''$, on a, dis-je,

$$\frac{2}{3}. \frac{d''}{d'} = \frac{1}{3,834} \quad \text{d'où}$$
$$d'' = \frac{2 . d'}{3 \times 3,834} = 0,173. d',$$

de laquelle, en me donnant $d' = 3^m$, je tirerai

$$d'' = 0^m,519.$$

Quant au chariot, les diamètres des poulies ou tambours destinés à le faire marcher se calculeront de la même manière. Soient, en effet, v''' et d''', v^{v} et d^{v} les vitesses et diamètres respectifs de deux tambours montés, l'un sur l'arbre hydraulique ou son prolongement, l'autre sur le même axe qu'une autre poulie dont le diamètre est d^{v}, et sur laquelle une corde s'enroule et fait avancer le chariot, parce que ses deux extrémités y sont fixées, ainsi que le montre la figure; on aura

$$\frac{v'''}{d'''} = \frac{1}{3,834} \text{ et } \frac{v''''}{d''''} = \frac{0,014}{d^{v}},$$

puisque nous avons vu plus haut que le chariot avancera de $0^m,014$ par seconde; en faisant $d^{v} = 0^m,30$, on a

$$\frac{v^{v}}{d^{v}} = 0,0466, \text{ d'où } v^{v} = 0,0466\ d^{v}, \text{ et}$$

comme $v'''' = v^{v}$ la première équation devient,

$$\frac{0,0466 \cdot d^{\prime v}}{d^{\prime\prime\prime}} = \frac{1}{3,834}, \quad \text{d'où}$$

$$d^{\prime\prime\prime} = 0,179\, d^{v}.$$

Si l'on y fait $d^{v} = 2^{m}$, on en tire

$$d^{\prime\prime\prime} = 0^{m},358.$$

Ces diamètres sont calculés pour scier du bois de chêne vert. Comme il faut se ménager la faculté de scier toutes sortes de bois, on disposera quatre poulies analogues à $d^{\prime\prime\prime}$, et on en calculera les diamètres, de sorte qu'en faisant passer la courroie sur chacune d'elles, on obtienne, avec la même dépense d'eau, une surface de sciage proportionnelle à la résistance du bois, sans fatiguer davantage la scie; condition qui n'est presque jamais remplie dans les scieries ordinaires.

D'après les expériences de Bélidor, les produits du sciage peuvent être respectivement représentés par les nombres suivans :

Chêne vert.	10
Chêne sec.	5
Bois blanc vert.	14
Bois blanc sec.	7

L'avancement du chariot sera proportionnel à ces nombres; ainsi, avec le même effort, si le trait de scie fait dans



Du chêne vert est de. . . . . . 1^m de long,

Il sera dans

Du chêne sec. 0,50
Du bois blanc vert. 1,40
Du bois blanc sec. . . . . . . 0,70.

Les diamètres des poulies d''' suivront les rapports directs, et puisque nous avons trouvé

Pour le chêne vert. . . . . . . $d''' = 0{,}358$,

Nous aurons

Pour le chêne sec. . . . . $d''' = 0{,}179$
—— le bois blanc vert. . . . . $d''' = 0{,}501$
—— le bois blanc sec. . . . . $d''' = 0{,}250$.

Ces poulies seront montées sur l'axe de la roue hydraulique et rangées suivant leur ordre de grandeur.

Dans les scieries destinées à l'exploitation des coupes, le bois scié étant toujours vert, on pourra, si l'on veut, supprimer les deux poulies relatives au bois sec : c'est ce que j'ai fait dans la scierie représentée dans les dessins.

La courroie s'enroulera sur le tambour d^{v}, et, dans la vue d'obtenir une tension uniforme, malgré la différence de diamètre des deux poulies, j'ai disposé deux coussinets afin de pouvoir reculer l'axe du tambour d^{v}, pour scier du bois blanc ou du chêne à volonté.

Il n'est pas inutile de rappeler que le tambour et les poulies doivent présenter une surface convexe, afin que les courroies ne s'échappent pas.

Il me paraît douteux que l'emploi d'un volant puisse être avantageux dans une scierie de ce genre. Son but ne pourrait être que de régulariser l'action de la scie; or, les variations qu'elle peut éprouver dépendent surtout des nœuds qu'elle rencontre, et il pourrait être dangereux de l'empêcher de céder en partie à l'augmentation de résistance qu'elle éprouve, parce que les dents pourraient casser. C'est même pour se prêter à ces changemens dans la dureté du bois, que l'on emploie dans ces scieries les courroies au lieu d'engrenages. Il est vrai que les scieries ordinaires surmontent cette variation sans accident; mais, comme il n'y a pas grand inconvénient à ce que la scie ralentisse un peu son mouvement, il vaudra peut-être mieux sacrifier la parfaite régularité du mouvement, et rendre la scie un peu plus mince.

Examen de l'emploi du cheval dans les scieries circulaires. — J'ai dit plus haut, et j'ai expliqué comment il se faisait, qu'un cheval appliqué à une scierie ordinaire à manége, ne produisit que l'effet utile de trois scieurs de long. Voyons quel sera le résultat de son emploi dans une scierie circulaire. J'admettrai qu'un cheval attelé à un

manége ne produit que $40^{\text{kil. m.}}$ par seconde; une bonne construction devrait obtenir davantage.

Il est facile de trouver la surface de sciage que cette force produira, par la proportion

$$43333^{\text{kil. m.}} : 1^{\text{m. q.}} :: 40^{\text{kil. m.}} : x,$$

d'où, pour une seconde,

$$x = 0^{\text{m. q.}},00092.$$

La surface exécutée dans une minute sera

$$0^{\text{m. q.}},0552;$$

Son rapport à $0^{\text{m}},009$, qui est la surface exécutée par un scieur de long dans une minute, étant

$$9,20,$$

on voit qu'un cheval produira le même effet que neuf hommes. Ce résultat très-remarquable fait présumer que l'emploi des scieries portatives à manége serait d'un très-grand avantage dans l'exploitation des coupes éloignées des cours d'eau.

Occupons-nous de calculer les dimensions des différentes parties de la machine, ainsi que les poids, pressions et frottemens qui en résultent.

Nous avons vu que l'épaisseur de la couronne des augets était $e = 0^{\text{m}},125$, ce qui donne pour le diamètre du cercle intérieur $3^{\text{m}},75$; le nombre des augets déterminé d'après ces dimensions est de 40. Il résulte, du tracé adopté et du diamètre

de la roue, que le nombre des augets qui conservent toute l'eau qu'ils ont reçue est au moins de 15, et comme chacun a reçu les $\frac{3}{4}$ de sa capacité qui est égale à

$$0^{m.\ c.},0338,$$

il s'ensuit que le volume d'eau constamment porté par la roue est de

$$0^{m.\ c.},304,20.$$

Il n'y a pas d'inconvénient à supposer le centre de gravité de cette charge sur le rayon horizontal de la roue, ce qui d'ailleurs est à peu près exact. Il faudra donc ajouter à son poids 304 kil., 20

La roue et ses bras sont en chêne, et pèseront d'après les dimensions du dessin.	622 kil.
Les ferremens.	320, »
Les tourillons, les frettes et le tambour.	400, »
Poids total à supporter par l'arbre.	1646 kil., 20.

Ainsi, pour déterminer les dimensions de cet arbre, il faudra faire $W = 1646$ kil., 20 dans la formule

$$\frac{l.\ W}{7.170} = d^3;$$

on a de plus $l = 3^m$, on en tire $d = 8$ cent., 831 pour un arbre en fonte, et

$d = 34$ cent., 23 pour un arbre en chêne, comme celui que nous adoptons. Afin de parer

aux défauts intérieurs et d'être plus sûr de la solidité, j'ai pris

$$d = 0^{m},50.$$

La longueur de cet arbre est de 3^{m} et son poids de $858^{kil.}$, qui, ajoutés à 1646, donnent pour le poids total supporté par les tourillons,

$$2504^{kil.}.$$

Chacun porte donc la moitié de cette charge, et dans la formule des tourillons

$$\frac{W}{60{,}03} = d^2,$$

il faut faire $W = 1252^{kil.}$, ce qui donne

$$d = 4^{cent.},567;$$

mais il faut remarquer ici que l'un des tourillons servant à transmettre le mouvement à l'arbre de couche, au moyen d'un manchon, il a à supporter un effort de torsion; par conséquent on doit chercher le diamètre à lui donner pour résister à cet effort, et voir ensuite laquelle des deux valeurs est la plus forte, pour l'adopter. La formule à employer pour la torsion est

$$\frac{17{,}96 \cdot l \cdot W \cdot R}{a} = d^4,$$

la longueur $l = 20^{cent.}$ environ, pour la place et le jeu du manchon; $W = 222^{kil.}$, $R = 2^{m}$, $a = 1$,

parce que le tourillon, étant court, ne peut supporter une forte torsion. On tire de la formule

$$d = 6^{\text{cent.}},319;$$

pour parer aux accidens, je ferai $d = 8^{\text{cent.}}$, et la longueur du tourillon proprement dit $l = 7^{\text{cent.}}$

L'arbre de couche n'a que son propre poids et celui des deux petites poulies à supporter, mais il est exposé à un grand effort de torsion. Son diamètre sera donné par la formule

$$\frac{10{,}68 \,.\, W \,.\, l \,.\, R}{a} = d^4;$$

en y faisant $W = 222^{\text{kil.}}$, $R = 2^{\text{m}}$, $l = 1^{\text{m}}$, $a = 1^{\circ}$, on obtient $d = 8^{\text{cent.}},298$.

Je prendrai le diamètre des tourillons égal à $8^{\text{cent.}}$, et la partie carrée aura $10^{\text{cent.}}$ de côté.

En négligeant la partie absorbée par les frottemens, la quantité de mouvement transmise à la scie sera $222^{\text{kil. m.}}$, et sa vitesse à la circonférence étant 3^{m}; il en résulte que la pression exercée à cette circonférence sera $74^{\text{kil.}}$; on a donc $W = 74^{\text{kil.}}$, $R = 1^{\text{m}}$, la longueur $l = 3^{\text{m}},50$; faisant $a = 1^{\circ}$, la formule

$$\frac{10{,}68 \,.\, W \,.\, l \,.\, R}{a} = d^4,$$

donne $d = 7^{\text{cent.}},252$ pour un arbre en fonte; mais la prudence exige qu'on le fasse en fer pour

être plus sûr de sa force ; et, d'après les rapports des résistances, on trouve qu'alors

$$d = 6^{cent.},534.$$

Je prends pour plus de sûreté $d = 8^{cent.}$, et le diamètre du tourillon égal au côté du carré.

Il est évident qu'il est inutile ici de calculer les dimensions de cet arbre d'après le poids qu'il doit supporter, parce que l'effort de torsion est beaucoup plus grand que la charge.

Passons aux frottemens qui résultent de ces dimensions.

L'expression du frottement des tourillons de fonte sur des coussinets de cuivre est

$$0,1093 . R,$$

R étant la résultante des pressions appliquées à l'extrémité du rayon du tourillon. Dans le cas actuel, elle devient $0,1093 \times 2504^{kil.}$, la vitesse à l'extrémité de ce rayon étant

$$1^m \frac{0^m,08}{3^m,834},$$

la quantité de mouvement destinée à vaincre ce frottement sur les tourillons de la roue, sera donc

$$0,1093 \times 2504 \times 1 \frac{3,834}{0,08}^{kil.\ m.} = 5,71^{\ kil.\ m.}$$

Le poids de la scie montée sur son arbre, calculé d'après le dessin, est de $430^{\ kil.}$; sa vitesse à

la circonférence est de 3^m., son rayon de 1^m., celui de son tourillon, de $0^m,08$. D'après ces données, on trouve, par la même marche que ci-dessus, que la quantité de mouvement destinée à vaincre le frottement de la scie sur ses tourillons est de 5 kil. m, 64.

Le chariot avec toutes ferrures, sans ses roulettes, pèsera environ 500 kil. Ce poids est réparti sur les tourillons des huit roulettes; chacune d'elles ne supporte que 62 kil., 50. La dimension donnée par la formule

$$\frac{w}{60{,}03} = d^2,$$

étant au-dessous de 1 cent., j'ai pris $d = 0^m, 03$. D'après cela, le frottement du chariot, dont la vitesse de translation est $0,^m 014$, dépensera sur les tourillons de ses roulettes 0, kil. m. 0,57 par seconde. Les huit roulettes pèseront ensemble environ 600 kil. qui, ajoutés aux 500 kil. du poids du chariot, donnent 1100 kil. pour la pression exercée sur les semelles. Il s'ensuit que la quantité de mouvement nécessaire pour vaincre le frottement sur les coulisses, sera $0{,}1093 \times 1100 \times 0{,}1 \times 0{,}014$ kil. = 1 kil. m., 69, le rayon des roulettes étant $0,^m 1$.

La quantité totale de mouvement nécessaire pour vaincre tous les frottemens de la machine sera la somme de toutes celles que nous venons de calculer; en récapitulant, on a,

	kil. m.
Frottement de la roue hydraulique sur ses tourillons	5,71
Frottement de la scie sur ses tourillons. .	5,64
Frottement du chariot sur les tourillons de ses roulettes.	0,057
Frottement du chariot sur les coulisses.	1,690
Total.	13,097

La force nécessaire au sciage étant 194 k. m.,18, nous avons pris le septième en sus pour tenir compte approximativement des frottemens; ce septième était 27 kil. m.,73, tandis que nous trouvons pour tous les frottemens 13 kil. m.,097. L'estimation approximative a donc été au-dessus de la valeur réelle, et il n'y a rien à changer à la machine.

J'ai négligé le frottement de l'arbre de couche qui porte les poulies d'' et celui des poulies d'' et d', parce qu'ils sont très-peu de chose relativement aux autres. On voit d'ailleurs qu'ils sont plus que compensés par la différence de 27,73 à 13 kil. m.,097.

Description sommaire, *Planche* II. — Après avoir donné tous les calculs relatifs aux différentes parties de la machine, il me reste à la décrire sommairement, pour l'intelligence des dessins.

Le plan représente la roue à augets et la projection d'une partie du canal qui y amène l'eau.

La coupe suivant *CD* donne le profil de la roue, la disposition de la vanne et de son coursier.

Sur l'arbre hydraulique est une poulie *d* qui, au moyen d'une courroie, communique le mouvement à la poulie d''; celle-ci entraîne avec elle l'arbre de la scie.

L'arbre de couche porte deux poulies d''', l'une pour le bois de chêne vert, l'autre pour le sapin vert. Je n'ai pas indiqué le manchon qui sert à coupler les arbres; on y suppléera facilement, au moyen d'une courroie qui est projetée dans la coupe *A B*. Le mouvement est transmis de d'''' à d^{v}, qui entraîne d^{v}. Une corde enroulée sur d^{v} et fixée par ses extrémités aux deux bouts du chariot, le fait avancer à mesure que cette poulie tourne.

Le profil et l'élévation sur échelle double montrent l'assemblage de la scie, sa monture et sa denture. On voit qu'au moyen de boulons, elle peut être fixée à différens points de la longueur de son arbre.

Cette machine est, je pense, assez simple pour qu'il ne soit pas nécessaire d'entrer dans de plus grands détails.

Établissement d'un martinet de raffineur d'acier. Pl. III *à* IV. — Il serait très-difficile, pour ne pas dire impossible, de déterminer directement la quantité d'action employée dans un martinet pour le travail. En effet, le marteau en frappant le

métal n'agit pas seulement par son poids; lorsque la came abaisse l'extrémité du manche, elle le chasse avec force contre une pièce de fonte appelée *renvoi*; il en résulte un choc violent, qui réagit sur le manche, par suite de son élasticité, et la raideur du coup de marteau est beaucoup augmentée. Le manche remplit ici un effet analogue à celui des rabats ou ressorts des gros marteaux. Dans l'impossibilité actuelle d'apprécier la force dépensée par ce choc, il faut se borner à calculer quelle est la quantité de mouvement dépensée par des usines déjà construites, et rechercher, soit à l'aide du frein dynamométrique de M. de Prony, soit d'après les formules qui sont relatives au genre de roue adopté, et d'après le plus ou le moins de perfection de leur établissement, la portion de cette quantité de mouvement qu'elle transmet. On aura ainsi une valeur *maximum* de la force consommée par le travail et les résistances passives de la machine; ce sera la valeur de PV; en la substituant dans la formule de la roue qu'on veut établir, on en déduira le volume d'eau à dépenser et les autres circonstances principales de la construction.

Telle est la marche que j'ai suivie; je vais en donner les calculs.

J'ai pris pour base un martinet de raffineur d'acier mû par une roue de côté, dont les joues étaient en fonte et les aubes en bois; ce qui, soit

dit en passant, est très-vicieux, parce que le bois se gonfle en s'imbibant d'eau, tandis que la joue en fonte ne change pas de volume, et la dilatation des aubes la chasse en dehors. Cette roue était d'ailleurs construite avec soin ; elle tournait exactement dans son coursier, sans laisser plus de 0,^{m} 005 à 0,^{m} 008 de jeu. Elle recevait l'eau par une vanne en déversoir, et la vitesse de l'eau affluente n'était pas le double de celle de la roue. L'arbre était énorme, il avait deux mètres de diamètre et était massif, de plusieurs pièces ; d'où résultaient une charge et des frottemens considérables sur les coussinets.

On peut donc être sûr qu'en remédiant à ces défauts, et adoptant une roue qui utilise une plus grande partie de la force motrice employée, on arrivera à un résultat plus satisfaisant.

La roue de ce martinet n'étant pas dans les circonstances du *maximum* d'effet, on ne peut lui appliquer que l'équation générale des roues de côté,

$$PV = mg\{H-h\} + m\{\sqrt{2gh}-V\}V - p.\frac{\varepsilon}{S}.$$

J'y introduis pour mg sa valeur 1000 kil. Q, je néglige le terme $p.\frac{\varepsilon}{S}$, qui serait assez faible ici, puisque les joues sont en fonte et déplacent peu d'eau, et que d'ailleurs sa suppression augmente la valeur de PV, ce qui n'a pas d'inconvénient

pour l'établissement d'une nouvelle machine. On sait, de plus, que les résulats de cette formule doivent être réduits aux 0,60, pour les applications pratiques. D'après tout cela, la formule générale devient,

$$PV = 600 \cdot Q\{H - h\} + \frac{600}{g}\{\sqrt{2gh} - V\}V,$$

dans laquelle il faut remplacer Q, H, h, g et V, par leurs valeurs numériques.

La différence de hauteur du niveau d'amont à celui d'aval était $1^m, 62$; on a donc $H = 1^m, 62$, l'épaisseur de la lame d'eau affluente était $h = 0^m, 27$, le diamètre moyen de la roue était $2^m, 40$, le nombre de tours par minute égal à 10; la vitesse par seconde était donc $V = 1^m,256$: la longueur de la vanne était de 2^m., ce qui, sur une épaisseur de $0^m, 27$, donne

$Q = 0$ m c., 550335 par seconde. On a de plus $g = 9^m,8088$.

En substituant toutes ces valeurs dans la formule et effectuant les calculs, on a

$$PV = 526 \text{ kil. m.}$$

La quantité de mouvement dépensée était

$$550^{\text{kil.}} \times 1^{\text{m.}}\ 62 = 891^{\text{kil. m.}}$$

en la multipliant par 0,60, on a $534^{\text{kil. m.}},60$, d'où l'on voit que, malgré l'omission du terme $p.\frac{g}{S}$, ce qui a augmenté la valeur de PV, cette

roue ne transmet pas tout-à-fait 0,60 de la force dépensée; ce qui tient à ce qu'elle s'éloigne un peu des conditions du meilleur effet possible, ainsi que je l'ai indiqué.

Il résulte de ce qui précède, que le travail d'un martinet, y compris toutes les résistances passives, consomme une quantité de mouvement égale à 526 kil. m. Il est de plus évident que cette estimation est un *maximum*, et qu'il est possible de dépenser moins. Cela posé, cherchons à établir les calculs pour un autre martinet.

Roue hydraulique du marteau. — Je supposerai qu'il s'agit d'utiliser une faible chute, et j'adopterai une roue à aubes cylindriques. La formule théorique de ces roues pour le cas du *maximum*,

$$PV = 1000\ QH\ 1\ \text{kil.}^{\text{m}},$$

doit être réduite aux 0,60; elle devient alors

$$PV = 600\ QH\ \text{kil.}^{\text{m}};$$

dans le cas dont il s'agit, $PV = 526^{\text{kil. m.}}$. Je suppose $H = 1^{\text{m}},30$. J'ai donc $526 = 600,\ Q \times 1^{\text{m}}30$, d'où $Q = 0^{\text{m}},674$. L'épaisseur de la lame d'eau qui arrive sur la roue étant supposée $C = 0,25$, sa vitesse moyenne sera due à la hauteur

$$H - \frac{C}{2} = K \text{ ou } K = 1^{\text{m}},175; \text{ on a donc}$$

$$v = 3,255\sqrt{K} = 3^{\text{m}},528.$$

La vitesse de la roue correspondante au *maximum* d'effet doit être dans la pratique 0,60 de celle de l'eau; j'aurai donc $V = 2^m,117$, et la longueur de l'ouverture

$$l = \frac{Q}{VC} = 0^m,752;$$

la roue sera un peu plus longue de chaque côté, et je lui donnerai $0^m,90$.

On voit que la longueur l de l'orifice est dans les limites prescrites, puisqu'elle est entre trois et quatre fois la hauteur.

Cherchons à déterminer maintenant le diamètre de la roue et du cercle à cames. Soient D et D' ces diamètres, V et V', les vitesses à leur circonférence, n le nombre de cames placées sur l'anneau, i l'intervalle de l'une à l'autre, de milieu en milieu; j'aurai entre ces quantités les équations:

$$\frac{V}{D} = \frac{V'}{D'}, \qquad \pi D' = n\,i,$$

et si l'on veut que le marteau frappe 360 coups par minute, ou 6 par seconde, ce qui convient au travail du raffineur d'acier, on aura encore

$$6\,i = V',$$

en faisant dans ces trois équations $V = 2^m,117$, et $i = 0^m,32$, dimension donnée par l'usage pour la facilité de l'échappement des cames, $n = 20$, et $\pi = 3,14$, on en tire,

$$D = 2^m,146, \text{ et } D' = 2^m,038.$$

Détails de construction et frottemens. — Pour trouver les dimensions de l'arbre hydraulique, que je suppose creux, en chêne, et composé de huit pièces, j'ai d'abord calculé le poids de la roue, et j'ai trouvé les résultats suivans, d'après les dimensions données par le dessin :

Poids des joues en fonte.	1,900 kil.
Poids des aubes en tôle.	360
Poids des boulons et ferremens. . .	100
Poids de deux cercles à cames. . . .	2,000
Poids total à porter par l'arbre. . . .	4,360 kil.

L'épaisseur de l'arbre étant le cinquième de son diamètre, la formule

$\frac{W}{3,669} = d^3$ donne pour un arbre en chêne $d = 88^{\text{cent.}},44$. Je fais, pour plus de sûreté, $d = 1^{\text{m}}$, et je prends l'épaisseur égale à $0^{\text{m}},20$. D'après cela, le poids de l'aube sera environ 4,928 kil., qui, ajoutés au poids de la roue, donnent 7,288 kil. à porter par les deux tourillons ; chacun d'eux en supportant la moitié, la formule

$\frac{W}{60,03} = d^2$ donne $d = 8^{\text{cent.}}$ 795, j'ai pris

$$d = 0^{\text{m}}\ 12.$$

Les frottemens se calculeraient de la même manière que je l'ai fait pour la scierie ; mais il n'est pas nécessaire de s'en occuper ici, puisqu'ils sont

compris dans la quantité de mouvement employée pour faire marcher le martinet, que j'ai calculée d'après une usine en activité, où ils étaient plus considérables que dans celle que représentent les dessins.

Tracé des aubes courbes. — La planche IV montre, dans la coupe de la roue des soufflets, le tracé des aubes; *a m* étant le dessus de la lame d'eau affluente, *a c* est perpendiculaire à cette ligne, *a b* est un rayon, et le centre *d* de la courbure est pris sur la ligne *a d* menée un peu en-dedans de *a c*, et à une distance de *a* égale à l'épaisseur de la couronne augmentée d'un sixième. Cette épaisseur est égale à $0^m,40$, c'est-à-dire, à un peu plus du quart de la hauteur de la chute.

La même planche représente le cercle à cames et la manière de déterminer la position de l'axe de la hulse, pour que les cames s'échappent facilement. La longueur du manche du marteau est donnée égale à 2^m, sa levée est connue, et celle de la bague au-dessus du renvoi, qui en dépend, est égale à $0^m,08$. La longueur des cames est de $0^m,04$. Ainsi, le dessus de la bague parcourt, entre la circonférence extérieure du cercle à cames et celle décrite par l'extrémité des cames, une longueur de $0^m,08$. J'inscris cette longueur en *ab* entre ces deux circonférences, la distance du dessus de la bague au centre de la hulse est

donnée, puisqu'on connaît les dimensions du manche et l'emplacement de la hulse; avec cette longueur comme rayon, je décris de *a* et de *b*, comme centres, deux arcs de cercle qui se coupent en *c*. Ce point est le centre de la hulse; du point *c* comme centre, avec un rayon égal à la distance à laquelle il doit être du bout du manche, je décris un arc de cercle; du point *a*, comme centre, avec un rayon égal à la demi-épaisseur du manche, augmentée de l'épaisseur de la bague, je décris un autre arc qui coupe le précédent, le point d'intersection *h* est l'extrémité de l'axe du manche; et la ligne *hc* représente cet axe. Dans la pratique son inclinaison à l'horizon ne doit pas dépasser 15°. On voit que cette construction se fait un peu par tâtonnement, et que la distance de l'axe de la hulse au-dessous de celui de l'arbre, dépendra, dans chaque cas, de la grandeur du cercle à cames. Il sera d'autant plus bas, que le diamètre du cercle sera plus grand; et sa position dépend ainsi de la hauteur de la chute.

Description sommaire de l'ordon. — Je n'ai que peu de chose à dire sur la disposition du martinet; le dessin l'indique assez. Toutefois on remarquera que l'enclume et la pièce de renvoi reposent sur des blocs de bois placés sur d'autres blocs en pierre, et que ces deux appareils sont isolés de l'ordon. Cela est indispensable pour

que les ébranlemens qu'éprouvent ces parties par les chocs répétés ne se transmettent pas à l'ordon. Si le sol n'était pas assez solide, il serait indispensable de piloter sous ces blocs de pierre et sous les plumards de l'arbre hydraulique.

Soufflets. — Il me reste à déterminer toutes les parties de la machine soufflante, destinée à activer le feu du raffineur.

On sait que cet ouvrier doit avoir, pour souder ses trousses, deux feux auxquels il travaille avec son compagnon. La construction en est simple et connue ; je ne m'en occuperai pas.

Les machines soufflantes le plus généralement en usage sont les soufflets pyramidaux en bois, les caisses à piston aussi en bois, et les cylindres en fonte alésés, comme ceux des machines à vapeur ; je ne parle pas des trompes dont l'usage est à peu près restreint aux Pyrénées.

La 1re. espèce est abandonnée par les bons constructeurs ; la 2e. est préférable à la 1re., mais bien inférieure à la 3e. qui ne laisse rien à désirer.

La quantité de vent produite par un soufflet serait assez facile à calculer, d'après ses dimensions et l'amplitude du mouvement, s'il n'y avait pas des pertes considérables par suite des défauts d'assemblage et des vides intérieurs où l'air peut se comprimer au lieu de sortir. Ces circonstances varient tellement, qu'il est très-difficile d'évaluer

directement le volume d'air produit à chaque pulsation. Il n'entre pas dans le cadre de ce mémoire, d'indiquer les procédés à employer pour résoudre ce problème par expérience, je me bornerai à indiquer les résultats suivans, extraits de la *Richesse minérale* de M. Héron de Villefosse. D'après les expériences rapportées par cet ingénieur, les soufflets pyramidaux perdent, quand ils sont assez bien faits, le quart de l'air qui devrait être produit; les soufflets à pistons carrés en bois bien exécutés perdent un dixième; enfin la perte des soufflets cylindriques alésés est à peu près nulle.

Une paire de soufflets carrés en bois à piston, dont les caisses ont 42 po. ou 1^m,136 de côté intérieur, et le piston 26 po. ou 0^m,70 de course, avec quatre pulsations chacun par minute, alimente les deux feux d'un raffineur d'acier. D'après ces données, le volume d'air produit doit être de $7^{m.c.}$,224; mais lors même que ces soufflets sont en bon état, on peut admettre qu'ils perdent un dixième; ils ont de plus l'inconvénient d'avoir un trop petit régulateur. On peut donc être sûr qu'une paire de soufflets cylindriques en fonte, qui produiraient $7^{m.c.}$ par minute, suffiraient aux besoins du travail. Nous prendrons ce volume pour base de nos calculs.

Roue hydraulique de la machine soufflante. — La chute est ici, comme pour le martinet,

$H = 1^{m},30$; en donnant à la roue un diamètre de 4^{m}, un calcul approximatif fait voir qu'elle fera environ 10 tours par minute. Il est bien entendu que c'est aussi une roue à aubes courbes. Le nombre des coups de piston donnés par minute sera donc égal à 20, en supposant les cames montées sur l'arbre même de cette roue.

Il s'ensuit que le volume engendré par chaque piston dans sa course, sera égal à $0^{m.c.}350$; si l'amplitude du mouvement est de $0^{m.pc.},80$, la surface de ce piston sera $0^{m.q.},4375$, son rayon sera donc égal à $0^{m},3733$.

Le régulateur doit avoir une capacité au moins double; son rayon r' sera donc $r' = r\sqrt{2}$, r étant celui des soufflets, et par conséquent dans le cas actuel $r' = 0^{m},53$.

C'est d'après la dimension trouvée ci-dessus, que j'ai construit le piston du soufflet. Je n'en donnerai pas la description, la figure indique assez la forme de ses parties. Son poids total, calculé approximativement, sera de $160^{kil.}$; j'y ajoute $20^{kil.}$ pour tenir compte du frottement contre les parois du cylindre, augmentation qui est supérieure à cette résistance.

D'après l'expression du frottement des cames, $0,10^{kil.} Q$, donnée plus haut, on trouve qu'il faut ajouter à son poids une quantité de $16^{kil.}$ pour tenir compte du frottement de la came contre la tige, ce qui porte le poids total à $196^{kil.}$. Le

nombre des pulsations étant de 20 par minute, ou de 0,33 par seconde, et l'amplitude du mouvement étant de $0^{m},80$, on voit que la quantité de mouvement dépensée par les soufflets dans une seconde, sera égale à

$$51^{\text{kil. m.}},74.$$

J'ai comparé ce résultat d'une estimation directe avec la quantité de mouvement dépensée sur les soufflets carrés en bois qui ont servi de base à l'appréciation du volume d'air nécessaire au travail du raffineur.

La dépense d'eau faite par la roue de cette usine pour marcher seule était de $0^{\text{m. c.}},0797$ par seconde, tombant de $1^{m},965$; pour faire aller les soufflets, on augmentait cette dépense de $0^{\text{m. c.}},03197$; la chute moyenne était alors $1^{m},79$, ce qui donne pour la quantité de mouvement dépensée sur ces soufflets par seconde,

$$56^{\text{kil. m.}},267.$$

Il n'est pas étonnant que nos soufflets dépensent moins, parce qu'ils sont beaucoup plus petits et que leur tige en bois est courte.

A la quantité de mouvement $51^{\text{kil. m.}},74$, il faut ajouter celle qui sera nécessaire pour vaincre les frottemens de la roue; on ne peut la calculer d'avance, et pour ne pas être au-dessous de la réalité je porterai à 65 kil. m. la quantité totale de mou-

vement que la roue doit être capable de transmettre. Nous vérifierons plus tard si nous avons de beaucoup dépassé la vraie valeur.

Il est facile de voir que la roue à établir dépensera très-peu d'eau, et, par conséquent, elle sera dans le cas de celles qui n'utilisent que 0,50 de la force dépensée; l'équation d'établissement sera donc,

$$PV = 500\ QH^{\text{kil. m.}};\ \text{en y faisant}$$
$$PV = 65^{\text{kil. m.}}\ \text{et}\ H = 1^{\text{m}},30,$$

elle devient $65 = 650\ Q^{\text{kil. m}}$ d'où

$$Q = 0^{\text{m. c.}},100.$$

Soit $c = 0^{\text{m}},08$, on aura $H - \frac{c}{2} = K = 1^{\text{m}},26$; et par suite, $v = 3,255\sqrt{K} = 3^{\text{m}},654$.

La vitesse v de la roue devant, pour le meilleur effet possible, être 0,60 de v, on aura, $V = 2^{\text{m}},192$.

On a aussi $l = \frac{Q}{VC} = 0^{\text{m}},57$; je prends pour la vanne $l = 0^{\text{m}},60$ et pour la longueur de la roue $0^{\text{m}},80$.

Détails de construction et frottemens.—Pour calculer l'arbre de la roue hydraulique, j'ai cubé toutes les pièces, et j'ai trouvé :

Poids des joues en bois.	$420^{\text{kil.}}$
Poids des aubes en tôle.	460
	$880^{\text{kil.}}$

Report. . . . . 880 kil.
Poids du bras et ferremens. 220

Poids total à supporter par l'arbre. . . . 1100

La formule $\frac{l.\,W}{7,170} = d^3$ donne pour un arbre en fonte, $d = 8^{cent.},498$; et pour un arbre en chêne, $d = 32^{cent.},94$: j'ai pris $d = 0^m,45$; d'après cela le poids de l'arbre est de. . . . . 810 kil.
Celui qu'il supporte. 1100

Poids total à porter par les tourillons. 1910

Pour chacun des deux. 955

La formule $\frac{W}{60,03} = d^2$ donne, en y faisant $W = 955^{kil.}$, $d = 4^{cent.}$.

J'ai pris $d = 0^m,7$.

L'arbre qui porte les cames étant exposé à une torsion, j'y applique la formule

$$\frac{10,68\,.\,W.\,l\,.\,R}{a} = d^4$$

En y faisant $W = 65^{kil.}$, $R = 2^m$, $l = 2^m,50$, $a = 1^\circ$, on en tire $d = 7^{cent.},676$.

Je fais l'arbre carré en fonte, son côté égal à $0^m,10$; et le diamètre de son tourillon égal à $0^m,07$.

Le frottement sur les coussinets de la roue serait dû à la pression de $1910^{kil.}$; la vitesse

de la roue à la circonférence est de $2^m,202$, le diamètre de la roue est de 4^m, celui du tourillon de $0^m,07$, la quantité de mouvement consommée par ce frottement sera donc

$$0,1073 \times 1910 \times 2^m,202 \times \frac{0,70}{4} = 8,20^{\text{kil. m.}}$$

Le poids des cames et de l'arbre de couche sera environ de $600^{\text{kil.}}$ avec les mêmes vitesses et diamètres aux tourillons que ci-dessus; j'aurai donc $0,1093 \times 600 \times 2^m,202 \times \frac{0,06}{4} = 2^{\text{kil.}},507$ pour la quantité de mouvement dépensée par ce frottement.

J'ai déjà dit que la pression des cames était de $0,10\ Q$, c'est-à-dire $16^{\text{kil.}}$, et je l'ai introduite dès l'origine dans les calculs; il n'y a donc plus lieu de s'en occuper.

Quant au frottement du piston dans le cylindre, je l'ai estimé à $20^{\text{kil.}}$; mais il est facile de faire voir qu'il sera bien au-dessous. J'ai supposé le piston en métal et garni de tresses de chanvre que l'on pousse à l'extérieur au moyen de vis. Je n'ai pas donné le détail de cette disposition, parce qu'on la trouve décrite dans plusieurs ouvrages, et je l'ai préférée aux pistons à segmens métalliques, quoiqu'elle ne soit pas si exacte, parce qu'elle est plus simple et plus facile à entretenir. Je vais, toutefois, donner la valeur du frottement qui serait dû à un semblable piston à

segmens, cela fera connaître la force consommée par ce genre de résistance.

Dans un piston du diamètre de nos soufflets, il faudrait deux rangs de segmens, chacun avec dix segmens, qui seraient poussés contre les parois par vingt ressorts à boudin en acier fondu : cette disposition est celle des machines d'Edwards. Les ressorts sont comprimés à fond quand ils sont en place, et une expérience directe que j'ai faite, montre qu'alors leur force élastique équivaut à une pression de $7^{kil.}$ pour chaque ressort. Les vingt segmens en cuivre sont donc pressés contre le cylindre en fonte par une force de $140^{kil.}$. La course du piston est de $0^m,80$ par pulsation, et il y en a 0,33 par seconde ; il parcourt donc $0^m,27$ dans ce temps ; la force dépensée par ce frottement sera donc

$$0,1093 \times 140 \times 0^{kil.\,m.},27 = 4^{kil.\,m.},131 ;$$

et comme il y a deux pistons, le frottement consommera donc $8^{kil.\,m.},262$ par seconde.

On voit donc qu'en l'estimant à $20^{kil.\,m.}$, je l'ai porté beaucoup trop haut.

Description sommaire. — Pl. III *et* IV. Le plan général n'indique que la position de la roue et de l'arbre de couche. Le détail de la machine soufflante se trouve dans les deux coupes transversales. Je n'ai pas indiqué la direction des tuyaux de conduite d'air, que je suppose en

fonte et d'un diamètre de $0^m,16$ intérieurement. Le régulateur est placé au-dessus des soufflets. Le tracé des cames est celui que j'ai décrit dans les détails de construction. La disposition des vannes se comprend facilement à l'aide du dessin. Je n'ai rien à dire sur la manière d'y adapter les leviers pour la manœuvre; cela est trop simple.

Je termine ici la description de cette usine, parce que le but principal de ce mémoire n'est pas d'entrer dans des détails de construction; et je désire même qu'on ne regarde les dessins que j'y ai joints que comme des figures propres à faciliter l'intelligence du texte, et non comme des plans à exécuter sans modifications.

Nota. J'ai parlé, dans la deuxième partie de ce mémoire, des expériences de M. Christian sur les roues de côté à aubes et à augets, et j'en ai conclu que ces dernières devaient être préférées, comme utilisant une plus grande partie de la force dépensée. Depuis que mon travail est terminé, un ingénieur des ponts et chaussées, qui s'est beaucoup occupé de la question des roues hydrauliques, m'a fait observer que l'expérience de M. Christian n'était pas aussi concluante qu'elle le paraît au premier abord, parce qu'il n'a pas donné à la lame d'eau qu'il fait arriver sur la roue de côté, l'épaisseur la plus favorable au bon effet de cette espèce de roue, épaisseur qui doit être, selon lui, de $0^m,25$ à $0^m,30$. Cet ingénieur croit qu'avec cette épaisseur d'eau et les autres conditions d'une bonne construction, les roues de côté donneraient jusqu'à 0,80 de la force dépensée; mais cette opinion mérite confirmation, et cela paraît devoir appeler un nouvel examen des expériences de M. Christian.

MÉMOIRE

SUR

LES BOITES A BALLES ET LEUR TIR.

PAR M. A. LYAUTEY,

CAPITAINE D'ARTILLERIE.

« Non levia aut ludicra petuntur præmia. »

Question.

« Discuter les circonstances dans lesquelles on » doit employer les cartouches à balles de préfé- » rence aux boulets et obus, et les distances aux- » quelles ce tir peut produire les effets les plus » avantageux.

» Déterminer la grosseur, le nombre et l'ar- » rangement des balles, les plus convenables à » chaque calibre et à chaque espèce de bouche à » feu, ainsi que la forme et l'épaisseur du culot.

» Indiquer la nature et les qualités du métal le » plus propre à la fabrication des balles. »

» Donner le rapport le plus avantageux entre » le poids de la boîte et celui de la charge, en » s'appuyant sur les expériences connues, et in- » diquant celles qui seraient à faire.

» Comparer, sous ces divers points de vue, les » usages des puissances étrangères avec ce qui se » pratique en France. »

Nous ne commencerons point, comme il est d'usage, par faire ressortir l'importance de la question dont la solution est l'objet de ce mémoire. Ce n'est point devant des militaires, devant des artilleurs, qu'il est nécessaire de développer longuement les avantages du tir à balles, de discuter l'influence quelquefois décisive de ce moyen destructeur, sur le sort des combats. Mais c'est pour nous un devoir d'insister sur les principes qui nous ont dirigé. Puisse leur exposition inspirer quelque confiance dans nos résultats, et disposer à l'indulgence pour un travail qui exigerait des connaissances plus approfondies, et une pratique plus longue, que les circonstances ne nous ont pas encore permis d'acquérir!

Nous croyons que le guide le plus sûr à consulter, surtout dans les choses militaires, c'est l'expérience. Les théories les plus séduisantes, les

plus universellement approuvées, ne peuvent point en tenir lieu. Lorsqu'elle existe, il faut s'appliquer à en bien discuter les divers élémens, et en déduire des règles usuelles pour le service. Lorsque cette expérience manque, il faut se résoudre à ignorer, ou du moins à douter. Ne pas savoir est préférable à mal savoir. Pénétré de l'importance de ces maximes, nous avons dû choisir, pour premier objet de nos recherches, les armes qui ont été soumises aux épreuves les plus multipliées, les plus fertiles en résultats : ces armes sont les canons de campagne. C'est de ces bouches à feu que nous nous occuperons d'abord ; les connaissances que cette étude nous procurera, nous les appliquerons ensuite, autant que possible, aux obusiers et aux canons de gros calibre, pièces pour lesquelles nous ne possédons pas les mêmes ressources.

CANONS DE CAMPAGNE.

Nous examinerons successivement, et isolément, chacun des élémens de la question, afin d'en déduire les principes généraux de la composition et de l'emploi des boites à balles, pour un système quelconque d'artillerie de campagne. L'application de ces principes au service des canons de campagne du système Français sera une simple conséquence de cette déduction.

Poids de la boîte à balles et de la charge de poudre.

Le poids de la boîte à balles et celui de la charge de poudre étant essentiellement dépendans l'un de l'autre, et agissant simultanément sur la pièce et sur son affût, nous n'avons pas cru devoir les séparer.

Boîtes à balles.

Les auteurs militaires qui se sont occupés de cette matière ont émis diverses opinions. Voici les principales.

D'Antoni veut que les boîtes à balles aient le même poids que les boulets, et que l'on mette deux boîtes à balles dans la pièce, lorsque l'ennemi est peu éloigné, ou placé en amphithéâtre.

Selon Scharnhorst, la mitraille, dans les canons les plus légers, doit avoir le même poids que le boulet; ne pas excéder $1 \frac{1}{2}$ fois ce poids dans les canons de campagne moyens, et 2 fois dans les pièces lourdes qui pesent 200 fois leur boulet.

Borkenstein, d'après un système théorique qu'il a imaginé, pense que le poids de la cartouche à balles doit être $1 \frac{1}{2}$ fois celui du boulet et $4 \frac{1}{2}$ fois celui de la charge; la charge étant le tiers du poids du boulet et la 400ᵉ. partie de celui de la pièce.

Les expériences faites en 1763 à Strasbourg, dont les tableaux sommaires sont donnés à la fin de ce mémoire, et celles qui sont contenues dans le Manuel de Scharnhorst, sont les seules dont nous ayons pu nous procurer les détails, et dans lesquelles nous puissions chercher jusqu'à quel point ces diverses opinions sont fondées.

Expériences de Prusse. — Dans les expériences faites en Prusse, on trouve quelques résultats obtenus chacun par un seul coup tiré dans un canon de 12 pesant, avec des boîtes du poids de 1 fois et 1 $\frac{1}{2}$ fois le boulet, et des charges de 4 et 5 livres : à toutes les distances la boîte la plus lourde a donné les effets les plus avantageux; *mais la différence entre les effets des deux boîtes a diminué à mesure que la distance a augmenté* (1).

Expériences de Strasbourg. — On a essayé, à Strasbourg, des boîtes de 35, 30 et 25 balles de 6 $\frac{1}{2}$ onces, dans une pièce de 8 dite moyenne, avec la charge de 3 $\frac{1}{2}$ livres. La boîte de 35, qui pesait 2, 1 fois le boulet, a donné, à 350 toises, des résultats plus avantageux que la boîte de 30, et à 400 toises cette dernière a été d'un meilleur effet que la boîte de 25 balles, qui pesait environ 1 $\frac{1}{2}$ fois le boulet.

---

(1) Scharnhorst, 59ᵉ. table.

Voilà tout ce que les expériences ont pu nous apprendre; elles sont loin de nous donner le moyen de tirer une conclusion positive; nous avons cru cependant devoir les rapporter, afin de montrer la nécessité d'en faire de nouvelles, si on veut établir une loi qui présente quelque certitude.

Rapport entre le poids de la charge de poudre et celui de la boîte à balles.

Expériences de Strasbourg. — Pour reconnaître le rapport qui doit avoir lieu entre le poids de la boîte à balles et celui de la charge à poudre, on a tiré, à différentes distances, dans les expériences de Strasbourg, une pièce de 12 moyenne avec des boîtes de 41 balles, des charges de $4\frac{1}{4}$ et de $4\frac{3}{4}$ livres. Les résultats sont les moyennes de deux coups seulement, et tantôt la charge la plus forte, tantôt la charge la plus faible a produit les effets les plus avantageux.

Dans une pièce de 4 suédoise, on a tiré 3 et 4 coups à chacune des distances de 200, 250 et 300 toises avec des boîtes de 41 balles, et des charges de $1\frac{1}{2}$ et $1\frac{3}{4}$ livres de poudre; quoique les différences entre les effets soient peu considérables, il n'en est pas moins vrai de dire qu'à toutes ces distances la charge la plus faible a été plus favorable à l'effet des boîtes que la charge la plus forte.

Expériences de Prusse. — Dans les expériences exécutées par l'artillerie prussienne (voir les tableaux B et B'), des charges de $4\frac{1}{2}$ et 4 livres de poudre ont été essayées dans une pièce de 12, avec des boîtes composées de balles de $1\frac{1}{2}$ once. Les moyennes ont toutes été prises sur 5 coups. A 500 et 600 pas (de $0^m,73$) la charge la plus faible a fourni les résultats les plus avantageux. A 700 pas, le contraire a eu lieu; mais les effets sont en général peu différens (1).

Dans une pièce de 6 pesante, on a tiré, à chaque distance, dix boîtes de 41 balles de 3 onces, avec des charges de $2\frac{1}{4}$ et 3 livres. A 600 pas, les résultats sont en faveur de la charge la plus faible; mais à 800, 900 et 1000 pas, le contraire a eu lieu. Nous ferons observer avec Scharnhorst, que la différence entre les effets n'est pas très-considérable, et ce qu'une augmentation aussi forte dans la charge de poudre n'a produit qu'une faible augmentation dans les effets.

Cependant il paraîtrait en général que s'il est vrai de dire qu'on ne gagne pas sensiblement en augmentant les charges au delà du $\frac{1}{3}$ du poids du boulet, même pour les distances grandes, relativement à la grosseur des balles, on ob-

(1) Scharnhorst, 55e. table.

tient un avantage plus marqué à les augmenter, lorsque les distances sont encore plus considérables.

Pour ne rien négliger de ce qui peut appuyer ou modifier cette conclusion, nous avons voulu comparer les effets des canons de même calibre et de longueurs différentes, avec des charges différentes; mais il a fallu auparavant chercher à estimer l'influence de la longueur de l'âme sur l'effet des boîtes à balles, lorsque les charges sont les mêmes.

Deux pièces de 6 prussiennes, l'une de 22, l'autre de 18 calibres, ont été tirées avec des charges de 2 $\frac{1}{4}$ livres et des boîtes de 41 balles; les résultats sont les moyennes de dix coups pour chacune des longueurs de hausse employées; mais la série n'en est point régulière, comme on peut le vérifier sur le tableau C; cependant, en les combinant, on arriverait à conclure que la différence entre les longueurs d'âme des canons introduit dans les effets une différence en faveur de l'âme la plus longue, et que ces effets sont comme 7,41 est à 6,41; rapport évidemment trop fort, si on le compare avec celui que l'effet de la plus grande longueur des canons établit entre les portées des boulets.

Quoique nous ne puissions rien assigner de certain dans cette circonstance, ce qui vient d'être dit servira à apprécier les résultats suivans, four-

nis par des canons de longueurs différentes avec des charges différentes.

Dans des expériences faites en Prusse, deux pièces de 12, l'une de 22, l'autre de 18 calibres, ont été tirées avec des boîtes de 41 et de 18 balles, et des charges de 5 et 4 livres. A 800 pas (tableau D) les effets ont été à peu près les mêmes. Mais à 1000 pas, la charge la plus forte a donné des résultats d'autant plus avantageux, que les balles étaient plus grosses, en ayant égard surtout au nombre des balles qui ont percé le but en planches; ce qui indiquerait que notre précédente conclusion pourrait être modifiée ainsi qu'il suit:

Non-seulement l'augmentation des charges est avantageuse pour les grandes distances, mais elle l'est d'autant plus que les balles sont plus grosses.

Nous ferons observer que nous sommes loin d'offrir ces résultats comme des données incontestables; car plus les différences entre les objets comparés dans les épreuves se compliquent, moins les conséquences qu'on peut en tirer sont certaines.

Scharnborst établit que la charge de $\frac{1}{5}$ au $\frac{1}{4}$ du poids de la boîte à balles produit un effet presque égal à celui qu'on obtient de la charge du $\frac{1}{4}$ au $\frac{1}{3}$ du même poids. D'après toutes les expériences qui ont été citées, on pourra penser que ces limites peuvent être resserrées, et que

l'on peut dire que, eu égard aux différens calibres, des charges de $\frac{3}{8}$ à $\frac{1}{5}$ du poids de la boîte à balles, et même un peu moindres, donnent des résultats qui ne sont pas sensiblement inférieurs à ceux qui sont fournis par des charges plus fortes, avec les balles adoptées jusqu'à présent.

En jetant les yeux sur le tableau A (à la fin de ce mémoire), dans lequel on a présenté ce qui est en usage chez les principales puissances de l'Europe, on reconnaîtra qu'aucun principe général n'a été suivi dans les systèmes des boîtes à balles. En France et en Prusse ils paraissent être les mêmes; cependant la charge employée dans ce dernier pays est plus forte par rapport au poids de la boîte à balles. Nous aurons plus tard à examiner s'il faut chercher la supériorité d'effet par un plus grand poids de la boîte, ou par l'augmentation des charges; mais il est important de remarquer que ni en France ni en Prusse, on ne s'est soumis aux règles données par Scharnhorst; peut-être l'abandon de ces règles est-il motivé sur des expériences autres que celles qui sont parvenues à notre connaissance, et que nous avons rapportées ci-dessus. Dans cet état de choses, nous ne pouvons que recommander l'adoption de la boîte à balles la plus lourde, qui, avec la charge reconnue la plus avantageuse, ne nuira ni à la solidité des affûts,

ni à la prompte exécution du tir; cette charge, qui est renfermée dans les limites déterminées ci-dessus, doit être établie pour chacun des calibres en particulier.

Effet des balles de différentes grosseurs.

On vient de voir que la grosseur des balles peut devenir une des conditions de la détermination de la charge ; nous avons cru devoir présenter l'analyse suivante des expériences faites tant en France qu'en Prusse, afin de donner une idée de l'effet des balles de différentes grosseurs lorsque les buts ont des dimensions analogues à ceux de ces expériences, et que les terrains sont semblables.

Les résultats des expériences faites en Danemarck n'y ont point été jointes, quoiqu'ils aient concouru aux conséquences générales énoncées à la fin de ce chapitre.

Balles de 1 *once* (0 ,0292).

Expériences de Prusse. — Les expériences faites en Prusse font connaître que jusqu'à 500 pas (365 mètres), 260 balles de 0k,0292, dans une pièce de 12, donnent des résultats doubles de ceux obtenus avec 126 balles dans la pièce de 6; mais à partir de là, et à mesure que la distance augmente, la pièce de 12 donne

des résultats plus forts, proportionnellement au nombre des balles dont les bouches à feu sont chargées.

Dans un canon de 6, 126 balles donnent, jusqu'au delà de 500 pas, des résultats fort avantageux. Quoique 174 balles donnent, dans le canon de 12, à 500 et 600 pas (365 et 438 mètres) des effets supérieurs à ceux qu'on a obtenus avec la pièce de 6, il ne paraît pas qu'elles puissent être employées utilement au delà de ces distances.

Balles de 1 ½ *once* (0k,0448).

Expériences de Prusse. — On n'a d'expériences comparables qu'à 600 pas, et alors 174 balles de 0k,0448 ont donné, dans un canon de 12, des résultats plus de 3,62 fois plus forts que ceux de 48 balles dans une pièce de 3.

Dans cette dernière bouche à feu, on ne doit plus attendre des effets avantageux de ces 48 balles au delà de 500 pas, tandis que, dans le canon de 12, elles peuvent être employées au nombre de 174 jusqu'au delà de 600 pas.

Expériences de Strasbourg. — Sans tenir compte des résultats comparables fournis par une pièce de 8 avec 112 balles, et une pièce de 4 avec 63 balles de 0k,0475, qui sont les moyennes de 3 coups pour l'une, de 2 et de 6 coups pour l'autre, nous ferons néanmoins

observer que la pièce de 8 a donné à 390 mètres des résultats plus forts, proportionnellement au nombre des balles, et à 487 mètres des résultats plus faibles.

63 balles paraissent encore d'un bon effet à 480 mètres, dans un canon de 4. On n'a point fait d'expériences à des distances plus grandes avec la pièce de 8; et avec la pièce de 12 ces balles n'ont été éprouvées qu'à 584 mètres, distance à laquelle elles ne doivent plus être employées.

Balles de $2\frac{1}{2}$ *onces* ($0^{k},0700$).

Expériences de Strasbourg. — Depuis 390 jusqu'à 584 mètres, à toutes les distances, la pièce de 12, avec 112 balles, n'a pas donné des résultats aussi forts, proportionnellement au nombre des balles contenues dans les boîtes, que 41 balles dans le canon de 4; mais le nombre des coups qui ont donné ces résultats n'est jamais le même, et la plupart du temps il est trop petit pour en garantir la certitude.

41 balles de $0^{k},0700$ ont donné, dans une pièce de 4, à 390 mètres, des résultats supérieurs à ceux qu'on a obtenus avec 63 balles de $0^{k},0475$, tandis que, à 488 mètres, le contraire a lieu. Ceci n'est point d'accord avec le plus grand nombre des expériences; mais les effets obtenus à 390 mètres sont la moyenne de 2 et 3 coups pour

l'une et l'autre boîte, et ne peuvent inspirer grande confiance.

Avec un canon de 12, les effets obtenus avec 112 balles de $0^k,070$ sont supérieurs à ceux qui sont fournis par 170 balles de $0^k,0475$, à 487 et 584 mètres, et ils paraissent encore suffisamment avantageux à cette dernière distance.

Balles de 3 *onces* ($0^k,0876$).

Expériences prussiennes. — Le nombre des coups tirés par une pièce de 3 chargée de 24 balles différant beaucoup de celui qu'on a tiré avec la pièce de 6 chargée de 41 balles, les unes et les autres du poids de $0^k,0876$, les résultats moyens donnés par le plus gros calibre sont tantôt plus forts, tantôt plus faibles, proportionnellement au nombre des balles, que ceux qui sont fournis par le canon de 3.

En faisant une semblable comparaison des effets obtenus avec une boîte de 79 balles, dans un canon de 12 et de 41 balles dans un canon de 6, on trouvera qu'à 600 et 800 pas (438 et 584 mètres) la boîte du plus fort calibre a donné des effets supérieurs ; mais à partir de 900 pas (655 mètres) le contraire a eu lieu. Il est vrai de dire que, pour cette distance, ces balles ne donnent plus, dans ces bouches à feu, que des effets incertains et très-faibles.

41 balles de $0^k,0876$ dans une pièce de 6, jus-

qu'à 600 pas, donnent des résultats fort inférieurs à ceux que l'on a obtenus avec 126 balles de 0^{k},0438 ; mais à partir de cette distance, la boîte de 41 balles donne des effets plus avantageux, et il paraît cependant qu'on doit cesser de l'employer avant 700 pas (511 mètres).

Dans une pièce de 12, 79 balles de 0^{k},0876 ont fourni, à 600 et 700 pas, des résultats très-supérieurs à ceux obtenus avec 174 balles de 0^{k},0438 ; ces balles pourraient encore être, dans ce canon, d'un bon effet, de 700 à 800 pas (511 à 584 mètres).

Balles de 4 $\frac{1}{2}$ onces (0^{k},1375).

Expériences de Strasbourg. — 41 balles de 0^{k},1375 ne donnent pas, dans une pièce de 8, un effet double de celui qu'on obtient avec 20 des mêmes balles dans un canon de 4, à 584 et 682 mètres. On n'a point fait d'expériences à de plus courtes distances.

Dans un canon de 4, 20 de ces balles, à 584 mètres, donnent des résultats plus avantageux que 40 balles de 0^{k},0700, quoiqu'elles ne paraissent plus, à cette distance, d'un effet assez efficace pour être employées en pareil nombre dans cette bouche à feu.

41 balles de 0^{k},1375 dans une pièce de 8, à 584 mètres, donnent des résultats fort avantageux ; mais à 682 mètres elles ne sont plus d'un

effet aussi certain, et il semble que ce n'est qu'au-dessous de cette distance, qu'il faut en attendre des résultats satisfaisans.

Balles de 6 *onces* (0^k,1752).

Expériences prussiennes. — En comparant les résultats des pièces de 6 avec des boîtes de 20 balles, et des pièces de 12 avec des boîtes de 41 balles, on reconnaîtra que, eu égard au nombre des balles, le canon de 12 a produit plus d'effet que le canon de 6, aux distances de 800 et 1000 pas, et que le contraire a eu lieu à 900 pas.

20 balles de 0^k,1752 dans un canon de 6 ont donné, à 800, 900 et 1000 pas, des résultats supérieurs à ceux obtenus avec 41 balles de 0^k,0876; mais les effets en seraient peu efficaces à ces distances, et il paraît que ces balles ne doivent point être employées en pareil nombre dans cette bouche à feu.

Dans un canon de 12, 41 balles de 0^k,1752 donnent, à 600 pas, des résultats fort inférieurs à ceux obtenus avec 79 balles de 0^k,0876; mais le contraire a lieu à 800 pas.

A 900 pas, la différence est encore plus prononcée; d'après les résultats obtenus à 1000 pas, il paraît qu'il ne faut commencer à faire usage de ces balles, avec un canon de 12, qu'entre 800 et 900 pas (584 et 655 mètres).

Balles de 7 onces (0^k,2150).

Expériences de Strasbourg. — 41 balles de 0^k,2150 dans une pièce de 12, ont donné des résultats avantageux jusqu'à 682 mètres ; à 780 mètres, ils ne le sont plus autant ; et il paraît que c'est entre 682 et 780 mètres qu'il faut commencer à faire usage de cette boîte de 41 balles.

A 584 mètres, ces balles ont donné des résultats supérieurs à ceux obtenus avec 112 balles de 0^k,0700 et 170 balles de 0^k,0475. On n'a point fait d'expériences à de moindres distances.

Balles de 1 livre (0^k,468).

Expériences prussiennes. — 18 balles de 0^k,468 ont donné à 721 mètres des résultats supérieurs à ceux qu'on a obtenus avec 41 balles de 0,1752 ; mais même à cette distance et au delà, les effets obtenus ne sont pas fort avantageux.

Il semble que de l'examen qui précède, et de celui des tableaux E et E', on est autorisé à déduire les conséquences suivantes.

Conclusions. — 1°. Il y a pour chaque grosseur de balles, ou plus exactement, pour chaque grosseur de balles dans chaque calibre, une distance à laquelle ces balles sont préférables à toutes les autres.

2°. Des balles de même grosseur ne donnent pas des résultats proportionnels au nombre des balles dont sont composées les boîtes des différens calibres. Si dans deux calibres différens on compare les rapports existans entre le nombre des balles qui ont percé le panneau et celui des balles contenues dans les boîtes, on trouve que ces rapports sont très-rarement égaux, et ne varient pas dans le même sens. Tantôt c'est l'un qui l'emporte ; tantôt c'est l'autre.

3°. Pour des balles de même grosseur, en nombre différent, dans des boîtes de même calibre, le petit nombre d'expériences ne permet aucune conclusion ; nous les avons citées, pag. 209, et elles pourront donner une idée de l'avantage que peut procurer un plus grand nombre de balles, dans les boîtes de même calibre.

4°. Avec des balles de différentes grosseurs dans les mêmes canons ; le nombre des balles, dans des boîtes de même poids, semble bien plus avantageux que la grosseur des balles, du moins jusqu'aux distances où les petites balles employées cessent d'avoir un effet certain ; mais à partir de ces distances et au delà, la grosseur des balles contribue plus que le nombre à la supériorité des résultats.

5°. Des boîtes de différens calibres, composées d'un même nombre de balles (le poids de ces balles étant à peu près dans le même rapport que

celui des boulets), donnent des effets d'autant plus grands que le calibre est plus fort.

Après avoir déduit ces conclusions, nous avons voulu reconnaître si les effets des balles de différentes grosseurs suivaient une loi quelconque de diminution, à mesure que les distances auxquelles elles sont employées augmentent; et en même temps chercher les relations entre le nombre des balles qui n'ont fait que frapper le but sans le percer. Les tableaux E et E', tout en nous donnant une idée de la manière dont les choses ont eu lieu, ne nous ont autorisé à aucune conséquence générale.

Dispersion des balles.

Nous n'avons rien à ajouter à ce qui a été dit par Scharnhorst, et rapporté dans le n°. 1er: du Mémorial, sur la dispersion des balles, leur cercle d'action et leur trajectoire; on a pu voir que ses conclusions sont loin d'être positives; mais un examen minutieux des expériences nous a convaincu qu'on ne pouvait fournir sur ces objets, des renseignemens plus certains, et si à la question de la dispersion de chacune des espèces de balles en particulier, on veut joindre celle du plus ou moins grand nombre de balles dont sont composées les boîtes des différens calibres, on est encore jeté dans une plus grande indécision.

Pour reconnaître la manière dont les balles se distribuent sur la surface du but, nous devons encore nous en tenir à Scharnhorst ; nous avons fait de vaines tentatives pour obtenir mieux.

Les tableaux F et F* qui indiquent, pour chaque grosseur de balle, et pour chacune de ces grosseurs dans les différens calibres, le rapport du nombre des balles qui ont frappé sur différentes surfaces le panneau en planches, à celui des balles contenues dans les boites, donnent les moyens de se former une idée de la manière dont les choses ont eu lieu, et nous n'y ajouterons que les conséquences suivantes, qui paraissent ressortir de l'ensemble des expériences.

Conclusions. — 1°. En général, des balles de même grosseur donnent, avec les canons de calibre supérieur, une dispersion moindre qu'avec les calibres inférieurs.

2°. Des balles de même grosseur, et en même nombre, se dispersent moins avec les pièces longues qu'avec les pièces courtes.

3°. Sur des surfaces de 50 et 100 pieds de long, la dispersion augmente en général dans un rapport plus grand que celui des distances ; et le contraire a lieu sur des surfaces de 150 et 200 pieds.

On est loin d'obtenir des effets proportionnels à l'étendue des surfaces, surtout aux petites distances; et aux grandes distances relatives à cha-

que grosseur de balles, on approche davantage de cette proportionnalité.

4°. Pour une même distance, avec les mêmes balles, plus la charge est forte, moins la dispersion est grande.

5°. A distances égales, lorsqu'elles sont en même nombre dans les boites de différens calibres, plus les balles sont petites, plus la dispersion est grande.

En ne tenant pas compte des premières balles qui ricochent et ayant égard au terrain, ne pourrait-on pas admettre que le faisceau des balles prend au sortir de la pièce la forme conique, et la conserve jusqu'à une certaine distance, à laquelle la majeure partie des balles commencent à s'abaisser, tout en continuant à s'écarter les unes des autres? Quelle est la relation qui a lieu entre cette distance, et la grosseur des balles, la charge de poudre et le nombre des balles dont les boites sont composées? C'est ce que nous ne pouvons dire, ni généralement, ni pour aucun cas en particulier.

Les seules expériences qui auraient pu aider à résoudre ces questions; ont été faites, par l'artillerie danoise, avec des balles de 1 à 2 onces : on tirait contre deux panneaux en planches de 2m,70 de hauteur, placés l'un au-dessous de l'autre, avec un intervalle de 1m,30, ce qui donnait une hauteur totale de 6m,40; mais ces expé-

riences sont incomplètes, et les résultats qu'elles présentent sont insuffisans pour l'objet qu'ils avaient à remplir. On n'a point cherché à s'assurer à quelle distance les boîtes cessent de frapper le but supérieur d'un plus grand nombre de balles que le but inférieur; on sait qu'elle est entre 187 et 374 mètres, et cela ne suffit pas (1).

Métal à employer dans la confection des balles.

Toutes les épreuves antérieures à celles de 1825, tant en France qu'à l'étranger, après avoir fait rejeter les balles de plomb, ont montré que les balles en fer forgé étaient préférables à celles de fer coulé, principalement parce qu'elles ne se brisaient point dans les canons. On a essayé à Metz, en 1825, concurremment avec les balles en usage, des balles en fonte de fer, d'une fabrication soignée, et qui n'ont point été brisées par l'effet du tir. Cependant tous les résultats donnés par les épreuves maintiennent la supériorité des balles de fer forgé sur celles de fer coulé, malgré les courtes distances auxquelles elles ont été tirées. Il est probable qu'aux distances plus considérables, auxquelles les balles de cette grosseur peuvent être employées, la diffé-

(1) 46e. table de Scharnhorst.

rence en faveur des premières eût été bien plus prononcée ; de sorte que nous ne croyons pas, malgré l'économie qui en résulterait, qu'il soit avantageux d'adopter les balles de fer coulé, à moins que de nouvelles expériences ne prouvent qu'aux distances de 680 à 780 mètres, pour le canon de 12 par exemple, les résultats seraient à peu près les mêmes que ceux qui ont été obtenus à des distances moindres.

Effet qu'on doit obtenir d'un coup à balles pour qu'il soit préférable à un coup à boulet.

Scharnhorst observe,

1°. Que le boulet répand plus d'épouvante par son sifflement ;

2°. Qu'il renverse une file entière, tandis que la balle ne tue souvent qu'un seul homme ; qu'il a ordinairement autant d'effet sur la seconde ligne et sur les réserves que sur la première ;

3°. Que dans beaucoup de cas le boulet ricoche, là où la balle est arrêtée ;

4°. Mais que par contre la boîte à balles n'exige pas un pointage aussi exact.

Nous allons examiner ces assertions dans le même ordre.

1°. On peut opposer le sifflement des balles au sifflement du boulet ; et de plus, l'effet moral du mot *mitraille* sur le vulgaire, qui s'est formé une

très-haute idée de ce moyen destructeur. Quoi qu'il en soit, nous pensons que, dans ce cas, l'effet moral est une conséquence de l'effet physique, et qu'en assurant le second on est sûr de produire le premier.

2°. La seconde assertion de Scharnhost ne nous paraît pas suffisamment claire. Aurait-il voulu dire que l'effet d'un boulet est de tuer trois hommes, tandis que celui de la boîte à balles serait de n'en mettre qu'un seul hors de combat ? Ce dernier résultat est inadmissible.

Quant au boulet, nous pourrions contester l'égalité d'effet qu'on lui attribue ordinairement sur la première et sur la seconde ligne; égalité qui a lieu encore bien moins souvent sur les réserves, qui sont disposées de manière à être dérobées à la vue de l'ennemi.

3°. et 4°. On peut admettre que le boulet ricoche là où la balle est arrêtée, et aussi que le coup à balles n'exige pas un pointage aussi exact. Toutefois, nous verrons par la suite de quelle importance il est de donner au coup à balles la hausse qui convient à la distance.

Scharnhorst ajoute que dans le canon de 12 à 730 mètres, et dans la pièce de 6 à 584, la mitraille ne fait probablement pas plus d'effet que le boulet, et à ces deux distances, il évalue l'effet d'un coup à balles à un homme tué; estimation trop faible, parce que l'auteur suppose que, dans

les cas où le tir à balles peut être employé contre une ligne d'infanterie, elle présente autant de vide que de plein. Nous allons essayer de prouver que le contraire a lieu.

Soit, pour fixer les idées, une position défendue par de l'artillerie et de l'infanterie. L'assaillant se dirigera ou sur les batteries, ou sur les troupes, ou sur les deux à la fois. S'il prend le premier parti, il ne marchera pas en ligne déployée et à pas comptés, sous peine de se rompre; et alors ne présentera-t-il pas une masse compacte et sans vide aux feux de l'artillerie, à moins qu'il ne se porte à l'attaque en tirailleurs? Dans ce cas, quoique le tir à balles soit loin de jouir des propriétés que les expériences nous permettront de lui reconnaître, il serait encore préférable au tir à boulet. Si l'assaillant marche contre les troupes qui soutiennent les batteries, l'obliquité des lignes de feu ne donnera-t-elle pas un but presque sans vide où les balles pourront frapper? On voit ce qui arriverait s'il se dirigeait à la fois contre les batteries et les troupes qui les protègent; voilà ce qui a lieu dans la défense.

Dans le cas où l'on aurait à attaquer une position semblable, en se rappelant, 1°. que le rôle de l'artillerie est d'affaiblir les troupes chargées de la défense, surtout celles qui sont à portée des points d'attaque; 2°. les avantages que donne la

bonne direction des feux des batteries, par rapport au front à battre; 3°. que l'artillerie ne doit point se trouver sur le chemin des assaillans et gêner leurs mouvemens; 4°. qu'elle doit se mettre dans le cas de n'interrompre son feu que lorsque attaquans et attaqués sont tellement rapprochés qu'il y aurait du danger à continuer, on pourra croire que généralement les batteries, lorsqu'elles auront à faire usage du tir à balles, auront à frapper un but présentant moins de vide que Scharnhorst ne le suppose.

On a pu remarquer que cet auteur, après avoir dit que le boulet renversait une file entière, etc. (*Mémorial*, n°. Ier., pag. 247 et suivantes), estime ensuite qu'à 1,000 pas, l'effet d'un boulet de 12 se réduit à ne tuer qu'un seul homme, et qu'à cette distance il est probable que le coup à mitraille ne fait pas plus d'effet que le boulet. Nous avons été conduits par l'espèce de contradiction qui paraît régner dans tout ceci, à chercher quel pouvait être réellement l'effet d'un boulet de 12 à 680 et 780 mètres. Toutes nos tentatives, quoique nous ayons eu à notre dispositiou les tableaux du tir de l'école régimentaire de Metz depuis 7 à 8 ans, et quelques résultats des expériences faites en l'an XI à Strasbourg, n'ont amené aucune conclusion qui mérite d'être rapportée.

Abandonnant cette recherche, nous avons tâché de découvrir dans la nature même des effets

du tir à balles, jusqu'à quelle distance il doit être employé de préférence au tir à boulet.

En consultant les tableaux E et E', dont nous séparerons les principaux résultats que nous présenterons ci-dessous, on pourra remarquer la manière rapide et brusque avec laquelle les effets des boîtes à balles diminuent à partir d'une certaine distance, par exemple, de 350 à 400 toises pour la grosse boîte de 12; de 300 à 350 pour celle de 8, et de 250 à 300 pour celle de 4; que l'effet de ces boîtes, en général, peut être estimé à 6 balles qui ont percé le panneau, en ne comptant pas celles qui n'ont pu le traverser (1). Si l'on considère de plus que ces effets croissent rapidement à mesure que la distance diminue; que c'est à partir des plus courtes de celles désignées ci-dessus, et pour toutes les distances plus grandes, que l'inégalité des coups successifs, quoique tirés dans les mêmes circonstances, se fait surtout remarquer, on pensera peut-être avec nous que :

Le tir à balles doit remplacer le tir à boulet, depuis les distances auxquelles, dans les expériences, le but en planches a été percé de 6 balles, en ne comptant pas celles qui n'ont pu le traverser.

(1) Voir la note qui précède les tableaux sommaires des expériences de Strasbourg.

	Nombre de balles.	Calibres.	Rapport du nombre des balles qui ont percé le but à celui des balles contenues dans les boîtes.				
		Distances	390 mètres.	487 m.	584 m.	682 m.	780 m.
A Strasbourg.	41 de 7 onces.	12	»	»	$\frac{1}{3,42}$	$\frac{1}{5,60}$	$\frac{1}{9,11}$
	id. $4\frac{1}{2}$	8	»	»	$\frac{1}{4,82}$	$\frac{1}{9,11}$	$\frac{1}{20,5}$
	id. $2\frac{1}{2}$	4	$\frac{1}{2,61}$	$\frac{1}{4,39}$	$\frac{1}{10,25}$	»	»
		Distances	438	511	584	657	730
En Prusse.	41 de 6 onces.	12	»	»	$\frac{1}{4,40}$	$\frac{1}{9,11}$	$\frac{1}{14}$
	id. 3	6	$\frac{1}{4,5}$	$\frac{1}{12}$	»	»	»

Il ne faut pas oublier que le but des expériences de Strasbourg avait 108 pieds de long, et celui des expériences de Prusse 200 pieds. Lorsque la longueur du but diminue, l'effet est loin de rester le même; nous verrons plus tard quelle modification la longueur de la surface à battre peut apporter, dans la distance à laquelle il faut commencer à tirer.

Il n'est ici question que des effets obtenus, sur les terrains favorables. Nous allons chercher à reconnaître quel peut être l'influence de la forme et de la nature du terrain sur l'effet des coups à balles.

Influence de la forme et de la nature du terrain. Causes de l'inégalité des coups à balles.

Dans le tir à balles, la forme et la nature du terrain apportent de très-grandes modifications dans les effets. Nous chercherons à les évaluer pour les terrains sur lesquels les expériences ont été faites, en commençant par présenter la description exacte de ces terrains que donne Scharnhorst, afin qu'on puisse s'en servir comme de base de comparaison pour l'infinie variété que présentent les champs de bataille.

« Dans les expériences, le terrain est en général favorable à l'effet des coups à balles, c'est-à dire uni; mais dans les expériences qui sont distinguées par l'observation, *terrain sablonneux*, toute la surface n'était pas en gazon : il se trouvait, dans la ligne du tir, des parties sablonneuses tout-à-fait nues, et de petites éminences d'une hauteur telle que de l'emplacement de la batterie on ne pouvait apercevoir que 4 pieds du but en planches.

» Dans les expériences en terrain inégal, ce terrain présentait, en plusieurs endroits, des enfoncemens de 1 à 5 pieds qui le coupaient en diverses directions. Le panneau en planches était plus élevé de 5 à 6 pieds que les 50 pas du terrain qui étaient en avant de lui. Le ter-

» rain consistait en sable mouvant, et on ne sau-
» rait en imaginer un plus mauvais pour l'effet
» de l'artillerie; la plupart des balles qui tom-
» bèrent en deçà du panneau s'enfoncèrent; d'au-
» tres ricochèrent, mais très-peu traversèrent le
» panneau.

» Dans les expériences où l'on tira de bas en
» haut, le panneau était placé sur une hauteur
» qui s'élevait en pente douce; le point le plus
» bas, à 900 pas (655 mètres) de la montagne,
» était à 101 pieds (31 mètres) au-dessous du
» point le plus élevé de celle-ci, sur laquelle était
» placé le panneau; à l'endroit où la pente de la
» montagne était la plus forte, le terrain s'élevait
» de 30 pieds sur 100 pas (environ de $\frac{1}{7}$).

» L'expérience dans laquelle on tira de haut
» en bas, eut lieu sur le même terrain. Le canon
» était placé sur le point le plus élevé, et le pan-
» neau plus bas. Le terrain sur lequel se firent
» ces deux expériences était argileux et pierreux;
» l'effet des coups tirés de haut en bas ne paraît
» pas avoir beaucoup souffert par l'abaissement
» du terrain; on doit les considérer comme s'ils
» avaient eu lieu sur un terrain horizontal. (Ceci
» n'est pas tout-à-fait ce que dit le même auteur,
» page 296, *Mémorial*, n°. 1er.). Quant à ceux qui
» ont été tirés de bas en haut, l'exhaussement
» du terrain en quelques endroits escarpés, a nui
» davantage à leur effet.

» Dans les expériences d'une montagne à l'au-
» tre, la plus basse de ces montagnes était élevée
» de 101 pieds (31 mètres), et la plus haute de
» 169 pieds (52 mètres), au-dessus du terrain
» ordinaire. Le canon était placé sur la montagne
» la plus haute, dont le terrain s'abaissait de 103
» pieds sur un espace de 280 pas (210 mètres),
» et s'élevait ensuite de 40 pieds (12 mètres)
» sur 400 pas (292 mètres). Il est hors de doute
» que, dans cette expérience, le terrain a beau-
» coup nui à l'effet des balles qui ont touché le
» but après avoir ricoché. »

Dans la comparaison que nous avons faite des expériences sur le terrain uni et sur le terrain dit sablonneux, nous avons écarté les résultats obtenus avec la pièce de 6, parce que, toutes choses égales d'ailleurs, les hausses n'ont point été les mêmes, et qu'on n'a point employé, sur le terrain sablonneux, la hausse qui, sur le terrain uni, avait donné les meilleurs résultats; surtout enfin, parce que les expériences ont eu lieu à des distances auxquelles les balles dont on a fait usage cessent d'être d'un effet certain, et ne doivent plus être employées.

L'exemple du canon de 12 nous fait voir que si le nombre des balles qui n'ont fait que toucher le panneau est très-différent dans les deux cas, le nombre des balles qui l'ont traversé est à peu près le même, lorsqu'on emploie pour

chaque distance, des balles de grosseur convenable.

L'examen que nous avons fait de l'ensemble des expériences a confirmé ce principe que nous avions déjà eu lieu de remarquer, que plus les balles sont grosses, plus elles échappent à l'influence du terrain; et nous avons reconnu que, dans les limites des expériences, les résultats généraux posés par Scharnhorst, sont les seuls qu'elles autorisent. Nous ne les répéterons point ici. (Voyez le n°. 1er. du *Mémorial*, pages 295 et 296.)

Afin de compléter ce qu'il y a dire en cette occasion, il a semblé utile d'évaluer quelles étaient, selon la diversité des terrains, les différences à établir dans les distances auxquelles il faut employer le tir à balles.

Il paraît que sur un terrain inégal, avec des boîtes de 41 balles de 6 onces, on obtient, à 584 mètres, des effets à peu près égaux à ceux qu'on avait obtenus à 730 mètres, sur un terrain uni; avec 79 balles de 3 onces, c'est un peu au-dessous de 438 mètres, qu'on peut espérer des résultats égaux à ceux qu'on a obtenus à 584, sur le terrain favorable.

Avec 41 balles de 3 onces dans le canon de 6, il paraît qu'il en est de même qu'avec les 79 balles ci-dessus.

En tirant de haut en bas, avec 41 balles de 6

onces dans un canon de 12, on obtiendrait, d'après les expériences, à 584 mètres, distance à laquelle on pourrait commencer à tirer, des effets supérieurs à ceux obtenus à 657 mètres sur un terrain uni ; les épreuves faites avec des balles de 3 onces ne peuvent fournir aucune conclusion pour le cas dont il s'agit en ce moment.

En tirant de bas en haut, cette différence paraît plus considérable, sans que nous puissions dire de combien.

Enfin, en tirant d'une montagne contre une autre, on n'a fait des expériences qu'avec la pièce de 6, et elles ne nous fournissent aucun résultat applicable.

On voit que, pour poser des règles plus justes et plus détaillées, il faudrait un plus grand nombre d'expériences ; qu'elles eussent été faites d'une manière semblable avec les différens calibres, et avec chacune des boîtes de ces calibres. Cependant nous n'avons pas dû négliger ces précieux moyens de reconnaître l'influence que peut exercer la nature du terrain, sur la distance à laquelle il faut employer le tir à balles.

Nous renvoyons nos lecteurs aux pages 297 et suivantes du n°. 1er. du *Mémorial*, qui traitent de l'inégalité des coups à balles dans des circonstances parfaitement égales, et auxquelles nous n'avons rien à ajouter. On peut y reconnaître l'importance que l'auteur attache à ce que la

hausse qui convient à la distance soit donnée au coup à balles. Il a présenté, page 293, une table des hausses, pour les différentes distances et les différens calibres, sur les terrains ordinaires, fondée sur ce principe, que des balles de même grosseur donnent dans les divers canons des effets proportionnels au nombre des balles dont les bouches à feu sont chargées; nous n'avons pas à la discuter. Mais de même que la distance à laquelle il faut employer le tir à balles est modifiée par la forme et la nature du terrain, la hausse doit éprouver des changemens analogues.

Lorsqu'on a tiré sur le terrain inégal, on a pris la hausse qui, sur le terrain uni, avait donné les meilleurs résultats, et elle n'a été changée que pour une seule série de 10 coups par calibre; alors les effets qui, sur le terrain uni avaient été les plus avantageux, avec la hausse la plus faible, ont été donnés, sur le terrain inégal, pour la hausse la plus forte; de sorte qu'il serait nécessaire d'augmenter, dans des circonstances semblables, les hausses employées sur les terrains unis; c'est l'opinion de Scharnhorst. Mais de nouvelles expériences seraient nécessaires pour déterminer des conclusions plus précises.

En examinant les résultats obtenus en tirant de bas en haut, de haut en bas et d'une montagne à l'autre, on voit qu'ils sont en trop petit nombre; qu'on n'a point varié les hausses, et

qu'on ne saurait dire si celles dont on a fait usage sont les plus avantageuses.

Nous n'avons rien d'analogue en France qui puisse nous servir de guide ; en attendant que des expériences soient faites, nous pensons qu'on pourrait en agir ainsi qu'il suit, dans toute circonstance semblable.

1°. Quand on devra faire usage du tir à balles, de haut en bas et de bas en haut, pointer la pièce parallèlement au terrain, ou sur l'objet à battre, et donner ensuite la hausse, qui, sur le terrain horizontal, convient à la distance. Peut-être faudrait-il ajouter à celle employée de bas en haut ; mais nous ne saurions l'assurer, ni dire combien.

2°. En tirant d'une montagne contre une autre, se servir, en l'augmentant un peu (on se rappelle ce qui doit avoir lieu sur le terrain inégal) de la hausse qui, sur le terrain uni, porte de plein fouet au but le plus grand nombre de balles. Nous aurons plus tard à désigner ces hausses.

Forme des boîtes à balles, et arrangement des balles dans les boîtes.

On a fait, à Strasbourg et ailleurs, des expériences pour déterminer la forme la plus avantageuse à l'effet des boîtes à balles, et toutes s'accordent à donner la préférence à un cylindre de fer-blanc, fermé par deux disques de fer. Le ferblanc vaut mieux que la tôle, non pas à cause

de la résistance à l'action des balles contre les parois de la pièce, car il faudrait une enveloppe d'une épaisseur considérable, mais pour la conservation de la boîte. Quoiqu'il soit plus cher, il est préférable, même sous le rapport de l'économie; car, il faut toujours raisonner dans le sens d'un grand approvisionnement de munitions confectionnées à l'avance, et qui suivent l'armée, la plupart du temps dans des caisses, sur des voitures découvertes, pour arriver successivement dans les places de dépôt, où l'on n'a pas toujours le choix des magasins. Or, le fer-blanc, étant plus doux, moins oxidable et moins cassant que la tôle, est moins sujet à être dégradé et percé par la rouille, ce qui entraîne souvent la démolition de la boîte.

Les expériences ont aussi fait connaître que le disque en fer, ou culot, qui ferme la boîte du côté de la poudre, doit être plat, et non pas arrondi. Les culots plats ont eu un avantage marqué sur les culots sphériques. L'*Aide-Mémoire* indique d'autres expériences qui ont été faites postérieurement à celles-ci; mais l'auteur de l'ouvrage ne semble pas en tenir compte, et en rejette les résultats, qui accordaient la préférence aux culots sphériques.

Scharnhorst (1), après avoir cité les résultats

(1) Tables 58e, 59e. et 60e.

obtenus en Prusse, avec des culots en fer et des culots en bois (page 305, du n°. 1er. du *Mémorial*), donne la préférence aux premiers, tout en ne leur accordant pas une importance aussi grande qu'on serait tenté de se l'imaginer. Ceci mérite d'être pris en considération, dans le cas où on pourrait manquer de fer pour la construction des boîtes à balles.

D'après ce qui vient d'être dit, quoiqu'il paraisse juste de penser que le culot doit avoir une épaisseur suffisante pour résister à la violente réaction des balles et assurer la régularité de leur marche, il semblerait que des culots moins épais pourraient donner dans le tir des effets aussi avantageux que ceux en usage, comme Scharnhorst l'indique. Outre l'avantage de diminuer le poids de la boîte, sans diminuer le poids des balles, ces culots moins épais auraient celui d'être moins exposés à dégrader les canons; reste à savoir si les débris des culots brisés, par la seule raison de leur moindre épaisseur, ne seraient pas une cause de déviation pour les balles et de plus grandes dégradations pour les bouches à feu. Ne pourrait-on pas obtenir aussi quelque diminution dans le poids, par la qualité du fer employé? Nous demanderons quelques expériences pour déterminer tout ceci.

Quant à la forme du couvercle, dont le seul but est de fermer la boîte et d'y maintenir les

balles, elle sera celle qui, avec le moins de main-d'œuvre, et avec la moindre épaisseur, remplira bien son objet.

On a reconnu qu'il était très-important de placer les balles dans les boîtes d'une manière régulière, et avantageuse à l'effet qu'on doit en attendre. On s'accorde, en général, à demander que les balles soient rangées de manière que les diamètres perpendiculaires au plan du culot se trouvent dans une même ligne droite, et, pour y parvenir, on a proposé divers moyens.

Les uns ont voulu prescrire d'enfermer les balles dans de petits cylindres de fer-blanc, et de placer ces cylindres dans la boîte. Ce moyen, qui serait à rejeter, par la seule raison qu'il augmenterait considérablement le prix des boîtes à balles, serait parfait, si les balles pouvaient sortir de chacun de ces petits cylindres comme une balle sort d'un canon de fusil; mais ces tubes de fer-blanc, si minces, résisteront-ils à la pression des balles, et leurs parties brisées et froissées ne seraient-elles pas une nouvelle cause de déviation?

D'autres mettent des calles en bois entre chaque balle, et asseoient les balles axe sur axe. Mais est-on sûr d'obtenir ce dernier résultat, si on ne donne pas aux calles en bois une forme qui nécessite une main-d'œuvre minutieuse, chère, et de difficile exécution?

On a comparé, dans les expériences de Stras-

bourg, des boîtes de 30 balles dans une pièce de 8. Les unes étaient faites comme à l'ordinaire; les autres avaient une couche de balles de plus, et au lieu et à la place de la colonne, ou de la rangée de celles du milieu, un axe ou pivot en bois dur. Les boîtes à pivot ont, en général, un avantage marqué sur les boîtes sans pivot; mais le petit nombre des expériences ne permet pas d'asseoir un jugement positif sur l'efficacité de ce moyen; cependant il est probable que le pivot a dû influer sur la bonne direction des balles; toutefois il n'a pas été adopté, sans que nous puissions en voir la raison, et on n'a pas même cherché à s'assurer si son emploi était réellement avantageux. Comme jusqu'à présent les probabilités sont en sa faveur, comme ce moyen est simple, peu coûteux, et d'une exécution facile, nous proposerons d'éprouver le pivot dans les boîtes à balles, en modifiant sa forme, et en lui donnant celle du vide intérieur qu'il doit remplir; de cette manière toutes les balles seront séparées par couches, de celles qui leur seront opposées, et en seront parfaitement indépendantes, et les axes seront tous dans une même droite perpendiculaire au culot.

Ainsi, sauf la sanction de l'expérience, ce pivot serait adopté pour les boîtes à grosses balles, qui sont celles des grandes distances, principalement à cause du petit nombre de balles dont

elles sont composées, auxquelles il faut assurer tout l'effet dont elles sont susceptibles. Mais quant aux boîtes à petites balles, qui sont celles des petites distances et des terrains plus favorables, nous pensons qu'il ne faut point les construire avec le pivot, qui les rendrait proportionnellement plus longues et plus lourdes que les boîtes à grosses balles, et plus difficiles à construire, à cause du petit diamètre des balles.

On pourrait faire quelques expériences à ce sujet, et profiter de celles qui seront faites avec les boîtes à grosses balles, pour déterminer si le pivot doit être ou ne pas être attaché au culot.

Il serait certainement très-avantageux d'unir la gargousse avec la boîte à balles, pour accélérer l'exécution des bouches à feu; mais l'expérience seule peut déterminer si les avantages qu'on y rencontre ne seraient pas plus que contre-balancés par des inconvéniens plus graves, qui proviennent de la longueur de cette charge; de la difficulté qu'on éprouverait à assurer son placement et sa conservation dans les caissons; de la peine qu'on aurait à la faire sortir des cases, où elle est maintenue par des étoupes, sans l'endommager, et sans perdre, en outre, un temps précieux.

Il a été reconnu que les charges de 4 pouvaient être unies à la boîte à balles, et c'est pour cela que les boîtes de ces canons sont terminées par

un culot, ou sabot en bois, auquel le sachet est attaché.

Résumé ou application aux canons de campagne français.

Poids de la boîte et de la charge de poudre.

Quel est le but qu'on s'est proposé dans le tir à balles? Il nous semble qu'il n'est autre que de remplacer le tir à boulet, à la plus grande distance possible, par un tir plus meurtrier. Mais nous avons vu que cet effet *maximum* dépend à la fois du poids de la boîte, de celui de la charge et de celui des balles employées. La combinaison de ces élémens doit être telle, qu'elle ne puisse jamais compromettre la solidité des affûts, et nuire, par des reculs démesurés, à la prompte exécution des bouches à feu. La limite supérieure de la résistance des affûts n'est point donnée; mais on sait qu'ils ont résisté à l'effort de charges de poudre et de boîtes à balles connues et éprouvées par un long usage et de nombreuses expériences. Nous en demanderons cependant de nouvelles, pour reconnaître s'ils ne sont pas capables d'une résistance plus considérable.

Quelle que soit la grosseur des balles adoptées pour chacun des calibres, il sera facile de faire voir plus tard, que les plus grosses balles dont

on puisse faire usage sont celles de $0^k,215$ (7 onces) dans le canon de 12 : de $0^k,1375$ ($4\frac{1}{2}$ onces) dans le canon de 8, et de $0^k,070$ ($2\frac{1}{4}$ onces), dans le canon de 4. Nous avons dû prendre d'avance en considération cette grosseur des balles, afin d'établir, avec plus de facilité, la relation qui doit avoir lieu entre le poids de la charge de poudre et celui de la boîte à balles.

Pièce de 12. — Les affûts de 12 ont résisté au tir de boîtes pesant 1,715 fois le boulet, avec des charges de poudre qui sont au poids de la boîte comme 1 : 4,94. Les expériences citées pages 210 et 211 font connaître les effets des augmentations de charge, même considérables, sur des boîtes composées de balles de 7, de 3 et de $2\frac{1}{4}$ onces. Quelque peu de confiance qu'on veuille accorder à chacun des résultats des expériences de Strasbourg avec des balles de 7 onces, et des charges de $4\frac{1}{4}$ et de $4\frac{3}{4}$ livres, la moyenne de ces résultats, jointe à celles des expériences plus complètes, faites à la vérité avec des balles plus petites, semble indiquer que ce n'est qu'au delà de 780 mètres (400 toises), que l'avantage des charges plus fortes commence à devenir sensible, et déjà, à cette distance, ces balles ne peuvent plus être employées au nombre de 41 dans les boîtes de 12 : car 1°., dans les expériences de Berlin, avec 41 balles de 3 onces, dans les boîtes pesant 1,85 fois le boulet du canon de 6, ce n'est

qu'à partir de 337 toises (657 mètres) que les résultats fournis par la charge de trois livres ont été supérieurs à ceux de la charge $2\frac{3}{4}$ livres; et on peut se rappeler que c'est à des distances au-dessous de 600 mètres, que le tir de cette boîte doit être substitué au tir à boulet;

2°. Dans les expériences de Strasbourg, avec 41 balles de $0^k,07$ dans les boîtes du canon de 4, qui pèsent 1,94 fois le boulet, on obtient, au delà de 500 mètres, et pour ainsi dire jusqu'à 584 mètres, avec la charge de $1\frac{1}{2}$ livre, des résultats qui ne sont point inférieurs à ceux fournis par la charge de $1\frac{3}{4}$ livre.

Il paraît donc qu'avec les grosses balles dont on pourrait faire usage dans le canon de 12, l'augmentation de $\frac{1}{2}$ livre, dans la charge de $\frac{1}{4,94}$ du poids de la boîte, ne pourrait produire aucun effet avantageux, aux distances auxquelles le tir de ces balles doit être substitué au tir à boulet.

Pour vérifier l'exactitude de cette assertion, et après avoir reconnu que la charge de $\frac{1}{3}$ du poids du boulet est le $\frac{1}{5,24}$ de celui de la boîte à balles, nous avons calculé les vitesses initiales d'un boulet de ce calibre pour toutes les augmentations de $\frac{1}{4}$ en $\frac{1}{4}$ livre de poudre, depuis la charge de $\frac{1}{5,25}$ jusqu'à celle de $\frac{1}{3}$ du poids du boulet, et avons pu reconnaître que si la portée avec la charge de $\frac{1}{5,25}$ était de 500 toises, avec la première augmentation de $\frac{1}{4}$ livre, elle serait 507 toises. Que

sera-ce donc avec des balles de 7 onces? De sorte qu'il paraît que, pour les distances auxquelles le tir à balles doit remplacer le tir à boulet (1), l'augmentation de $\frac{1}{4}$ livre de la charge ne produit pas un avantage sensible; et nous proposerons d'adopter la charge de $\frac{1}{3}$ du poids du boulet, après avoir demandé, si on le juge nécessaire, des expériences directes pour justifier cette proposition.

Les épreuves faites à Strasbourg en 1821, avec des charges de 4 $\frac{1}{4}$ livres, et des boîtes de 48 balles de 7 onces, pesant 26 livres $\frac{1}{4}$ ($13^k,16$), permettent de croire que l'affût résisterait au tir de boîtes plus lourdes et de charges plus fortes que celles en usage; et, si les expériences que nous proposons s'accordent avec ce résultat, on pourrait alors augmenter d'une couche de balles, la boîte de 41 balles, qui, dans ce cas, peserait $11^k,57$, et ramener la charge au $\frac{1}{3}$ du poids du boulet. Le rapport du poids de la boîte à celui du boulet serait alors :: 1,93 : 1; et si on veut se rappeler les effets des boîtes de 6 prussiennes pesant 1,85 fois, et des boîtes de 4 françaises pesant 1,94 fois le boulet, avec des charges de 2 $\frac{1}{4}$ liv. et 3 liv. pour les premières, 1 $\frac{1}{2}$ liv. et 1 $\frac{3}{4}$ liv. pour les dernières, ainsi que les résultats obtenus

(1) Nous appellerons dorénavant *distances efficaces*, celles aux quelles le tir à balles doit remplacer le tir à boulet.

avec une augmentation de $\frac{1}{2}$ liv. pour la charge du canon de 12, avec des boites de 1,71 fois le boulet, on sera amené à penser que la boite et la charge proposées ne donneront pas aux distances de 700 à 800 mètres, des effets inférieurs à ceux des boites de 41 balles, et qu'elles donneront à toutes les distances moindres, des effets beaucoup plus considérables.

Canon de 8. — La boite à balles du canon de 8 pèse 1,71 fois le boulet ; la charge est $\frac{1}{5}$ du poids de la boite. Les expériences que nous avons citées plus haut, et les calculs que nous avons faits de l'augmentation qu'on obtiendrait dans la portée d'un boulet de 8, par l'addition de $\frac{1}{4}$ livre de poudre à la charge du $\frac{1}{3}$ de son poids, nous permettent de penser que, comme pour le canon de 12, la charge du $\frac{1}{3}$ du poids du boulet, pour toutes les distances efficaces, n'est sensiblement inférieure à aucune autre, et qu'elle doit être adoptée. Nous ne savons pas si l'affût est capable d'une résistance plus considérable que celle que les boites en usage lui font subir; cependant si, pour se faire une idée de cette résistance, on compare entre eux les poids des affûts de 12, 8, 4, on pourra croire que celui de 8 n'est point inférieur aux autres, surtout en remarquant que le poids de la boite de 4, est 1, 94 fois le boulet. On peut donc proposer d'établir le système de la la boite à balles, et de la charge de poudre, dans

les mêmes proportions que pour le canon de 12. Des expériences seront demandées pour s'assurer de ce qui vient d'être avancé.

Canon de 4. Les expériences faites avec les charges de 1 $\frac{1}{3}$ et 1 $\frac{3}{4}$ livre et la boîte de 1,94 fois le boulet, prouvent que la première est aussi avantageuse, à toutes les distances efficaces, que toute autre charge plus forte : on jugera s'il serait utile de faire des expériences pour un calibre qui paraît abandonné, afin de déterminer si le poids de la boîte peut être augmenté ; dans tous les cas, elles seraient dirigées comme celles qu'on a proposées pour les canons de 12 et de 8.

En dernière analyse, nous demanderons pour les canons de 12 et de 8, des boîtes pesant 1,93 fois le boulet et des charges de $\frac{1}{3}$ du poids du boulet. Les boîtes de 4 pèseront 1,94 fois le boulet et les charges seront de $\frac{1}{3}$ du poids du boulet.

Grosseur des balles.

Canon de 12. — En jetant les yeux sur les tableaux qui sont à la suite de ce Mémoire, on sera bientôt convaincu que les balles les plus grosses dont on puisse faire usage, dans le canon de 12, sont celles de 6 par couche dans la boîte, du poids de 7 onces (0^k,215). Celles de 5 par couche, qui pèseraient 9 $\frac{1}{3}$ onces, au nombre de 30 dans les boîtes pesant 1,71 fois le boulet, ne seraient plus assez nombreuses pour en assurer les effets ; et

il parait probable qu'on ne pourrait pas commencer à les tirer à des distances plus grandes que les balles de 7 onces, qui à toutes les distances moindres donneraient des résultats plus considérables ; dans les boîtes pesant 1,93 fois le boulet, ces balles seraient au nombre de 35, et ces observations leur sont encore applicables.

Les balles de 6 onces des expériences prussiennes ont donné, jusqu'à 584 mètres, des effets supérieurs à ceux de 79 balles de 3 onces ; à partir de cette distance et au-dessous, les balles de 3 onces ont donné des résultats doubles, environ, de ceux fournis par celles de 6 onces. Si l'on compare les effets obtenus avec 112 balles de $2\frac{1}{2}$ onces dans les expériences de Strasbourg, à ceux qui sont rapportés ci-dessus des balles de 3 onces, on verra qu'à 580 mètres, les balles de $2\frac{1}{2}$ onces sont préférables, et le sont d'autant plus que la distance diminue; et les expériences montrent qu'on se priverait de la moitié et même des deux tiers de l'effet qu'on doit attendre du tir à mitraille, en rejetant, pour les distances de 500 mètres et au-dessous, les balles de $2\frac{1}{2}$ onces, et en se bornant à une seule boîte à balles. On pourrait ajouter que, 174 balles de $1\frac{1}{2}$ onces, sont préférables à toutes les autres depuis 300 mètres ; mais il n'est pas proposable d'admettre trois sortes de boîtes à balles. Nous devons nous borner à demander deux boîtes, à moins que nous ne puissions les remplacer par

une boîte unique, composée de balles plus petites et plus nombreuses que celles de 7 onces.

Les balles de 7 par couche, aux petites distances, ne sauraient remplacer la boîte à petites balles; en les adoptant, on perdrait sur la distance à laquelle on peut commencer à tirer à balles, et on ne remplirait pas les conditions énoncées au commencement de ce chapitre.

Les balles de 8 par couche sont trop petites, quoiqu'elles soient assez nombreuses pour assurer à la boîte des effets avantageux aux petites distances; ce serait peut-être seulement à 580 ou 600 mètres qu'on pourrait commencer à en faire usage.

Ainsi, nous proposerons des boîtes de 48 balles de $0^k,215$, avec pivot ou axe en bois dur au milieu, pour les distances de 500 à 750 mètres, et d'autres de 126 balles de $0^k,070$, sans pivot, et construites comme elles l'ont toujours été, pour les distances plus courtes, quoique, pour des raisons fort importantes, cette dernière ait été supprimée depuis 1815.

Nous avons cherché à connaître les motifs de cette suppression, et à atténuer les inconvéniens attachés à l'emploi de deux boîtes à balles. On dit d'abord que les caissons, renvoyés des batteries aux parcs, reviennent la plupart du temps avec les boîtes à balles, parce qu'on n'a pas eu l'occasion d'en faire usage, et qu'il ne faut pas s'embarrasser de munitions inutiles; mais cette

objection, qui est dirigée contre les grosses et contre les petites balles, tendrait d'abord à proscrire totalement ce mode de tir. Ensuite, toutes les fois qu'on devrait s'en servir contre une attaque vigoureusement conduite, on aurait aussi à employer même les petites balles, à moins que l'assaillant n'ait pris le parti de se retirer avant d'être parvenu aux distances efficaces. De ce qu'on n'a pas eu fréquemment occasion de faire usage des derniers expédiens, s'ensuit-il qu'il faut en être dépourvu?

On ajoute, qu'on confondait souvent, sur les champs de bataille, la boîte à grosses balles avec l'autre, qu'on les employait mal à propos, et qu'on ne savait jamais quand on devait quitter la première pour prendre la seconde. Cherchons à remédier à ces inconvéniens.

D'abord il est facile de marquer les boîtes de manière à les rendre parfaitement distinctes, en leur donnant une couche ou deux de peinture à l'huile, de couleur tranchée, qui aideront même à la conservation de l'enveloppe et en retarderont l'oxidation; que l'on inscrive en outre, sur le couvercle, les initiales GB. et PB., qui serviront à le faire distinguer du culot, il sera alors très-difficile de se tromper. Il est vrai qu'on a vu, dans les exercices du polygone, des canonniers mettre la charge dans les canons, en y faisant entrer d'abord le boulet; mais si dans les exercices d'école,

on prend les hommes indifféremment pour toutes les fonctions, afin de les y habituer, il n'en est pas de même à l'armée. Le capitaine qui commande une batterie connaît les bons canonniers, et les place aux postes qui demandent du sang-froid et de l'aplomb. L'essentiel est de ne laisser arriver aux pièces que les munitions convenables : mais les officiers ont seuls le droit d'ordonner le tir à balles, et de le modifier selon les circonstances. Les munitions sont distribuées par des hommes de choix, et les sous-officiers chefs de chacune des pièces doivent alors exercer toute la surveillance qui leur est commandée; avec ces garanties doit-on craindre que la pièce soit chargée avec la boîte à petites balles, lorsqu'elle devrait l'être avec l'autre, et réciproquement?

Quant à la difficulté de reconnaître quand il faudra quitter le tir à boulet, pour employer le tir à grosses balles, et celui-ci pour le tir à petites balles; nous pensons que lorsque, dans le tir à boulet, on est arrivé à se servir des hausses qui conviennent aux distances efficaces des boîtes à grosses balles, il faudra dès lors en faire usage, en ayant égard à la forme du terrain. Cette indication ne peut servir à reconnaître quand il faudra quitter la boîte à grosses balles pour prendre l'autre; mais cela aura lieu à des distances plus rapprochées, auxquelles les yeux des officiers et des canonniers sont plus habitués, qui sont celles de

leurs exercices journaliers dans les polygones, bien plus faciles à estimer parce qu'elles sont plus courtes. En fixant d'ailleurs l'attention des officiers sur cet objet, on doit croire qu'ils parviendront bientôt à juger des distances dans ces limites.

Il est vrai de dire que leur mémoire sera surchargée d'une table de hausses, de plus qu'auparavant; c'est un inconvénient auquel rien ne saurait remédier absolument, quoique chacun puisse employer des moyens de suppléer à la mémoire ou bien de la soulager.

On dit enfin qu'on manque souvent de boîtes à longues portées, lorsqu'il est nécessaire de les avoir, et qu'on est embarrassé de boîtes à petites balles tout-à-fait inutiles. Pour répondre à cette objection, nous ferons observer que généralement les boîtes à longues portées sont seules consommées, parce qu'on n'a pas fait un emploi judicieux du tir à balles, ou parce que l'ennemi contre lequel on a eu à agir, n'a pas montré la ténacité nécessaire pour réussir dans ses projets. Nous rappellerons donc que le tir à balles ne doit point être employé concurremment avec le tir à boulet; qu'il est destiné à combattre un ennemi opiniâtre, et qu'on ne doit plus s'en servir, aussitôt que les attaques commencées, ou les positions jusqu'alors obstinément défendues sont abandonnées.

Nous ajouterons que, dans la défense des positions où ce tir joue un rôle fort important, on



a surtout le besoin et l'occasion de se servir de boîtes qui assurent son action d'une manière décisive. L'effet des petites balles est le complément de celui des grosses balles; c'est le coup de massue qui terrasse un ennemi déjà affaibli. Si l'usage des premières doit être moins fréquent que celui des secondes, c'est une raison pour en régler l'approvisionnement, et non pas pour proscrire un moyen aussi efficace dans les circonstances vraiment critiques.

Pour terminer, nous renvoyons au tableau de la page 261. On pourra y reconnaître que, dans quelques circonstances, la boîte à petites balles pourra être employée, là où l'autre serait d'un effet très-faible, et nous prierons nos lecteurs de se rappeler les distances efficaces des petites balles de 8 et de 12, et celle à laquelle le feu de l'infanterie devient meurtrier.

Nous venons d'exposer les raisons principales qui ont pu déterminer le rejet de la boîte à petites balles. Il en est encore probablement d'autres que nous n'avons ni devinées ni apprises; mais nous avons cru devoir consciencieusement exposer toutes celles qui sont venues à notre connaissance. On jugera si les inconvéniens attachés au système des deux boîtes, doivent l'emporter sur la considération suivante.

En se bornant à l'emploi d'une seule boîte, on se priverait de la moitié et jusqu'aux deux

tiers de l'effet qu'on doit attendre du tir à balles (1).

Pièces de 8. — Ce que nous venons de dire du canon de 12, s'applique parfaitement au canon de 8; d'un examen semblable il résulte que deux sortes de boîtes à balles sont néces-

(1) Si malgré ce qui vient d'être dit, on croit qu'il est préférable de n'avoir qu'une seule boîte pour le calibre de 12, celle de 48 balles de 7 onces ne serait peut-être pas la plus avantageuse. En lui donnant une boîte composée de balles de 5 ½ onces (0k,176) à 7 par couche, au nombre de 56, on obtiendrait, de 650 à 700 mètres, des effets analogues à ceux des boîtes de 48 balles de 7 onces, et à toutes les distances moindres des effets supérieurs, ainsi qu'on peut s'en assurer par les résultats des expériences prussiennes avec des balles de 6 onces (0k,175). On perdrait au plus une cinquantaine de mètres sur la distance efficace; mais on regagnerait cette différence par la supériorité des effets obtenus à 650 mètres et au-dessous. Les balles de 8 par couche, quoique plus nombreuses, ne sauraient être adoptées, parce que l'on s'écarterait trop du principe posé au commencement de ce résumé, et qu'on peut déjà attendre de la boîte de 56 balles, aux petites distances, des effets qui, sans être aussi considérables que ceux des boîtes de 126 balles, sont néanmoins assez avantageux. On voit que le système de la boîte unique ne conduit point à une solution aussi avantageuse que celui des deux boîtes, et qu'on est obligé de sacrifier de la portée, et plus encore de l'effet aux petites distances, pour obtenir un résultat à peu près satisfaisant.

saires au canon de 8, pour en obtenir l'effet qu'on est en droit d'exiger. Ces boîtes du poids de 1,91 fois le boulet, seront composées : la première, de 48 balles de 0^k,1375, que nous proposons de construire à pivot, et qui servira depuis les distances de 350 à 400 mètres jusqu'à celles de 650 mètres; et la seconde de 126 balles de 0^k,0475, pour toutes les distances au-dessous.

Les balles plus grosses, celles de 5 par couche, du poids de 6 ½ onces, et celles de 7 et 8 par couche, du poids de 3 ½ et de 2 ½ onces, ne rempliraient pas les conditions du problème, par les raisons indiquées pour le canon de 12.

Pièces de 4. — Les expériences font connaître que les balles de 0^k,070, sont les plus grosses dont on puisse faire usage dans le canon de 4. En considérant que les balles de 0^k,0475, au nombre de 63, ont donné, à 390 et 490 mètres, des résultats qui ne le cèdent pas à ceux des boîtes de 41 balles; si à ces distances on n'avait à agir que sur des terrains semblables à ceux des expériences, il faudrait se borner à une seule boîte, celle de 63 balles; si le terrain est moins favorable, il faudra de nouvelles expériences pour décider s'il est nécessaire d'avoir, pour ce calibre, une boîte à balles plus grosses, moins sujettes à l'influence du terrain, et dont les effets soient plus certains aux grandes distances auxquelles elles peuvent être employées. A toutes les distances moindres,

la boite de 63 balles sera d'autant plus avantageuse, que le terrain sera plus favorable.

Nous allons donner les hausses dont il faut faire usage aux différentes distances, telles qu'elles ont été conclues des expériences de Strasbourg.

		mètres.	m.	m.	m.	m.	m.
	Distances	292	390	487	584	682	780
		pouces.	po.	po.	po.	po.	po.
Canon de 12.	Grosses balles	»	»	[illegible]	½	1	1 ½ à 2
	Petites balles	»	½	[illegible]	1	»	»
Canon de 8	Grosses balles	»	»	»	½	1	»
	Petites balles	»	½	½	»	»	»
Canon de 4.	Grosses balles	»	»	[illegible]	»	»	»
	Petites balles	»	½	1	»	»	»

Ces hausses établies pour les terrains des expériences doivent être modifiées d'après les terrains sur lesquels on aura à agir ; on ne saurait donc trop se pénétrer de tout ce qui a été présenté sur cet objet.

Si nous comparons ces hausses à celles qui sont données dans l'aide-mémoire, nous verrons que ces dernières sont plus complètes, et qu'elles diffèrent en quelques points des nôtres, résultats immédiats des expériences de Strasbourg. Les hausses de l'aide-mémoire sont probablement les résultats d'épreuves qui ne sont point venues à notre connaissance. Cependant nous demanderons pourquoi on prescrit d'employer la même hausse avec la boite à petites balles de 8, à 360 et à 487 mètres ?

Effet obtenu sur différentes surfaces du but des expériences de Strasbourg, pour servir à déterminer à quelle distance il faut employer le tir à balles contre un front de pareilles dimensions.

Il nous a semblé utile de chercher à reconnaître la distance à laquelle il faut commencer à tirer à balles, à mesure que les surfaces du but changent de dimensions. Le tableau suivant présente les effets moyens obtenus à Strasbourg, sur différentes surfaces. On pourra, d'après la connaissance de ces effets, dresser les tableaux (1) des distances auxquelles il faut substituer le tir à balles au tir à boulet, et reconnaître la boîte qu'il faut employer, pour obtenir le même effet qu'on peut attendre du boulet.

---

(1) Ils ont été supprimés pour éviter les répétitions.

Calibres.	Désignation des boîtes à balles.	Distances.	LONGUEUR DES SURFACES DU BUT.							
			6,60 mètr.		10 mètres.		13 mètres.		17 m. 60 c.	
			Balles qui ont		Balles qui ont		Balles qui ont		Balles qui ont	
			Percé.	Touché.	Percé.	Touché.	Percé.	Touché.	Percé.	Touché.
		mètres								
12	Boîtes à grosses balles.	580	2,41	0,50	4,00	3,00	6,30	6,00	8,00	13,8
		680	2,10	0,50	4,00	2,50	6,00	4,50	7,50	10,90
		780	1,25	0,50	»	»	»	»	4,80	7,60
	A petites balles.	390	8,70	1,17	15,70	13,00	21,00	25,00	29,66	40,00
		490	4,00	3,00	10,00	14,00	16,00	22,00	22,00	34,00
8	A grosses balles.	580	1,60	1,20	3,60	4,40	5,60	8,00	7,66	12,42
		680	1,10	1,00	2,40	4,00	3,70	7,00	5,17	9,33
	A petites balles.	390	6,00	3,00	13,00	14,00	20,00	23,00	27,36	36,00
		490	2,00	4,00	6,00	10,00	10,00	16,00	14,00	22,00
4	A grosses balles.	390	4,66	0,30	6,06	5,03	8,00	10,00	10,33	16,80
		490	1,90	1,00	3,80	2,60	5,00	4,20	6,85	6,30
		580	1,30	0,86	2,55	2,86	3,60	4,86	5,00	7,70
	A petites balles.	390	3,00	1,00	5,10	5,00	7,10	9,00	9,58	13,00
		490	2,30	2,33	5,00	6,00	2,50	10,00	9,25	14,00

Ainsi, pour le canon de 12, par exemple, sur une surface de $6^m,60$ de longueur, la boîte à grosses balles ne saurait être employée, et la boîte à petites balles pourrait donner, depuis 390 mètres et au-dessous, des résultats assez satisfaisans.

Sur une surface de 10 mètres de long, c'est encore avec la seule boîte à petites balles qu'il faudrait tirer à 390 et à 490 mètres et au-dessous,

tandis que la boîte de 41 balles à 580 mètres ne donne que de faibles résultats, etc., etc., etc.

OBUSIERS.

Le petit nombre d'expériences faites avec les obusiers ne nous a pas permis de suivre la marche adoptée pour les canons de campagne; nous devrons renoncer à chercher des principes généraux, et nous contenter de conclusions particulières aux obusiers dont on s'est servi.

Obusiers courts.

Poids des boîtes à balles et des charges de poudre.

Lors des expériences faites en 1764, à Strasbourg, on a seulement tiré quelques coups avec l'obusier de 6° Gribeauval. La charge était de 17 onces de poudre; la boîte, composée de 68 balles de $0^{k},1735$ (les grosses balles de 8); le poids total des boîtes 20 liv.; et il ne paraît pas que des boîtes ainsi constituées puissent être employées au delà de 400 mètres.

Dans les expériences faites en Prusse, on a tiré l'obusier de 10 *livres-stein* (de 6°), pesant 1267 liv. (620^{k}), avec des balles de différentes grosseurs et des charges de $2\frac{1}{2}$ et 3 liv. ($1^{k},22$ et $1^{k},47$). Les boîtes à balles pesaient environ $1\frac{1}{2}$ fois l'obus. En jetant les yeux sur le tableau G, extrait de

la 38e. table de Scharnhorst, on voit qu'on obtient avec la charge de 3 liv., à 506 mètres, des résultats plus avantageux qu'avec celle de 2 liv. $\frac{1}{2}$; qu'à 584 mètres, cette différence en faveur de la charge la plus forte est encore plus prononcée. A 658 mètres, le nombre des balles de 1 liv. qui ont percé le but avec la charge de 3 liv., est double de celui obtenu avec la charge 2 liv. $\frac{1}{2}$. A 721 mètres, ce nombre est 2 $\frac{1}{2}$ fois plus grand.

Ces expériences, quoique peu nombreuses, sont assez concluantes. Il serait à désirer qu'elles eussent été continuées avec des charges plus fortes que celles de $\frac{1}{4}$ du poids de la boîte à balles.

Le tableau G', extrait du *Manuel* de Scharnhorst, montre quelques résultats obtenus avec des boîtes de 56 et de 45 balles de 6 onces. La première pesait 28 liv. $\frac{3}{4}$; la seconde, 18 liv. $\frac{1}{2}$; les charges étaient $\frac{1}{11}$ et $\frac{1}{9}$ du poids de ces boîtes. La boîte la plus pesante, celle qui renfermait le plus grand nombre de balles, a donné les résultats les plus avantageux. L'auteur ajoute quelques conséquences au tableau ci-dessus; les voici :

1°. Les coups à balles tirés par les obusiers, même avec les balles de 6 onces, sont de peu d'effet à la distance de 800 pas (584 mètres).

2°. A cette distance, les balles de 6 onces ne traversent plus le panneau.

3°. L'effet de la mitraille des obusiers est très-considérable à 400 pas, puisqu'il y a plus de 40

balles qui donnent dans un panneau de 8 pieds de haut, et par conséquent plus de 26 dans un panneau de 6 pieds.

4°. L'expansion des balles à 100 pas est de 30 à 49 pieds; et elle est plus considérable pour les obusiers que pour les canons.

5°. L'effet qui a lieu contre les blancs particuliers fait voir que 150 balles de 1 ½ once produisent, à 400 pas, autant d'effet que 70 balles de 3 onces, et qu'on peut employer les unes et les autres à cette distance.

6°. De plus, à 400 pas, 120 balles de 3 onces tirées par l'obusier de 10 liv. stein n'ont pas donné un plus grand résultat sous le rapport du nombre des balles mises dans le but; que 150 balles de 1 ½ once tirées par l'obusier de 7 liv. Il y a seulement plus de balles de 3 onces qui ont traversé le panneau.

7°. Au total, l'effet produit contre un blanc, à 600 pas, n'est que d'environ moitié plus petit que celui qui a lieu à 400 pas, comme on l'a reconnu dans les canons.

8°. L'effet est cinq fois plus grand à 200 pas qu'à 400 pas. A 200 pas, 49 balles de 1 ½ once ont donné dans le but de 8 pieds de hauteur sur 8 pieds de large; à 400 pas, 10 balles ont touché le même but.

Les épreuves de l'obusier de 7 liv. ont été faites toutes avec la même charge et des balles de

différentes grosseurs, composant des boîtes de même poids à peu près. Elles ne peuvent rien nous fournir sur la relation qui doit avoir lieu entre le poids de la boîte et celui de la charge. L'obusier de 7 liv. pesait 680 liv. (332k); la charge 2 liv., les boîtes 18 liv. $\frac{1}{2}$. Elles contenaient, soit 70 balles de 3 onces, soit 37 balles de 6 onces, soit enfin 150 balles de 1 $\frac{1}{2}$ once. Les charges étaient de $\frac{1}{9}$ du poids de la boîte.

En 1826, à La Fère, on a fait quelques expériences avec des obusiers courts de 6 pouces, et des boîtes pesant 16k (à peu près 1 $\frac{1}{3}$ fois l'obus), composées de 60 balles de 0k,215 (7 onces). La charge de 1k,50 était le $\frac{1}{11}$ du poids de la boîte. Il paraît qu'on peut en attendre, même au delà de 550 mètres, des effets analogues à ceux de la pièce de 12 à 680; et aux distances de 250 et 400 mètres, des résultats très-avantageux.

En même temps on a tiré, avec l'obusier de 24, des boîtes de 70 balles de 0k,1735 (4 $\frac{2}{3}$ onces), avec des charges de 0k,700 et de 1k de poudre, ou de $\frac{1}{17}$ et de $\frac{1}{12}$ du poids de la boîte, qui était 1 $\frac{1}{3}$ fois environ celui de l'obus. Les résultats n'ont pas été observés aux mêmes distances avec ces deux charges; mais à 400 mètres la charge de 0k,700 a donné des effets fort inférieurs à ceux de la charge de 1k à 450 mètres, quoique cette dernière n'ait plus fourni à cette distance des résultats analogues à ceux de la pièce de 8 à

680 mètres. En tenant compte de la nature très-favorable du terrain sur lequel les expériences eurent lieu, ce n'est guère qu'à 400 mètres que l'on doit en attendre des résultats avantageux.

Grosseur des Balles.

Dans les expériences faites en Prusse avec l'obusier de 10 liv. stein à 600 pas (438 mètres), on obtient, avec 56 balles de 6 onces, des effets qui ne sont point inférieurs à ceux fournis par 112 balles de 3 onces, puisque les nombres comparatifs des effets sont $13\frac{1}{2}$ et $14\frac{1}{4}$, et que le nombre des balles qui ont percé le panneau est près de deux fois plus grand ; cette dernière raison seule nous ferait de beaucoup préférer aux balles de 3 onces, pour cette distance, celles de 6 onces, qui sont très-probablement les plus avantageuses qu'on puisse employer de 365 à 550 mètres; au delà de ces distances, quoique les balles de 1 liv. soient d'un meilleur effet, leur petit nombre ne permet pas d'en attendre des résultats assez satisfaisans pour qu'elles puissent être employées (*Mémorial*, I, p. 365 et suiv.).

L'obusier de 7 liv. stein, avec 70 balles de 3 onces, jusqu'à 550 pas (400 mètres), donne des résultats satisfaisans; mais c'est la distance la plus grande à laquelle ces balles puissent être employées. A 600 et 700 pas (438 et 497 mètres), 37 balles de 6 onces sont préférables, mais ne

donnent pas des résultats assez avantageux pour qu'on puisse en faire usage.

En comparant, dans le tableau G, les effets des boites de 150 balles de 1 ½ once et de 70 balles de 3 onces, à 400 pas (292 mètres), on verra que si à cette distance, le but a été *atteint* par un plus grand nombre de balles de 1 ½ once, par contre, un nombre plus considérable de balles de trois onces, ont *percé* ce but.

Si, d'après les expériences que nous venons de citer, nous avions à déterminer les boites à balles des obusiers de 10 liv., comme on ne signale ni reculs excessifs, ni affûts brisés, nous pensons que le poids des balles contenues dans la boite doit être de 360 onces (11 kilogr.). Ainsi la boite serait composée de 120 balles de 3 onces, ou de 90 balles de 4 onces, ou de 60 balles de 6 onces, si elles pouvaient s'y loger par couches complètes, et nous ne remplacerions pas cette mitraille par une autre plus légère, parce qu'on tirera aussi vite, à très-peu de chose près, avec l'une qu'avec l'autre, et que les effets de la première seront bien plus avantageux.

Scharnhorst propose une boite de 70 balles de 4 onces, avec la charge de 2 liv. ½; cependant elle n'a point été, à ce qu'il paraît, adoptée en Prusse, pays où la position militaire, les services et la réputation bien méritée de l'auteur, devaient donner un grand poids à ses opinions.

Ce qui vient d'être dit s'appliquerait à l'obusier de 7 liv., en ayant égard cependant aux poids relatifs des charges, des projectiles et de la bouche à feu. Mais nous n'avons point pour but de déterminer les boîtes à balles des obusiers prussiens, seulement de chercher dans les expériences quelques renseignemens qui pourront nous aider dans le choix de la mitraille pour les obusiers allongés, les seuls qui paraissent devoir être adoptés dans l'artillerie de campagne française.

Obusiers allongés.

Obusier de 6 p°.— Pour atteindre le but qu'on doit se proposer, il faut chercher à rendre les obusiers allongés capables d'effets analogues à ceux qui sont fournis par les canons de campagne avec lesquels ils sont en batterie, et aux mêmes distances. Nous allons examiner les expériences dont nous avons rassemblé les résultats dans les tableaux H et H', et qui ont été faites avec ces obusiers.

En 1821, à Strasbourg, on mit en expérience deux espèces de boîtes à balles, les unes contenant 18 balles de 7 onces et pesant 13ᵏ,10; les autres renfermant 72 balles de 7 onces, et pesant 18ᵏ,80; les charges étant de $4\frac{1}{4}$ livres, (2ᵏ,08). On a conclu des expériences que la grosse boîte paraissait bonne et devait être conservée; mais que la charge était trop forte et qu'il y avait nécessité de la réduire, quoiqu'elle fût favorable aux

grandes portées, et cela pour la conservation des affûts; les portées sont très-satisfaisantes et donnent aux nouveaux obusiers un immense avantage sur les anciens. Sous les angles de 4, 6 et même 8 degrés, on obtient encore avec justesse des portées produisant plusieurs ricochets à d'assez grandes distances, principalement avec les deux premiers. Les angles de 10 et 12 degrés donnent de très-grandes portées; et bien que l'écartement des balles soit très-considérable, le tir sous ces angles pourra encore être d'un grand effet, etc.

Nous croyons devoir ajouter à ceci le sommaire des conclusions de l'école de Toulouse, dont les résultats s'écartent de ceux qu'on a obtenus à Vincennes et à La Fère, et qui par cela même doivent être mentionnés séparément. Le tir eut lieu sur un terrain en jachères, dont on avait égalisé les sillons à la pioche.

Avec 10 degrés d'élévation, à 75 toises, les balles portent en masse sur le but; avec 2 degrés, le tir a paru d'une grande justesse à 175 toises. La plus grande partie des balles tombait entre deux lignes tracées sur le terrain et qui ne comprenaient qu'un espace de 5 toises. A chaque coup on remarqua que 1 ou 2 balles allaient à de très-grandes distances au delà des autres.

Sous l'angle de 4 degrés, on a commencé à reconnaître l'effet de l'écartement dans le sens

vertical. A 255 toises, un petit nombre de balles portait dans le panneau; cependant l'effet n'en serait pas moins meurtrier sur une colonne profonde; car les balles sont presque toutes tombées entre deux lignes espacées de 5 toises. C'est seulement sous l'angle de 4 degrés qu'on a commencé à remarquer quelque altération dans les effets.

A d'assez grandes distances l'écartement ne va pas au delà de 40 toises; tandis qu'aux petites distances l'effet du coup à balles est comme celui du boulet, ce qui offre un moyen de défendre un défilé, un pont, etc.

Les conclusions des écoles de La Fère et Vincennes sont les conséquences immédiates des tableaux des épreuves. Elles peuvent être tirées du tableau H, et vont entrer dans l'examen que nous allons en faire.

Angles de tir; — 0 deg. — D'après les résultats obtenus à Strasbourg en 1821 et à La Fère en 1822, l'augmentation de plus de $\frac{1}{7}$ de la charge n'en a pas produit, dans les effets d'une boîte pesant seulement $\frac{1}{7}$ de plus. Au contraire, les effets ont été moindres; mais l'augmentation de la charge était telle, qu'à 97 mètres la plupart des balles a dû passer par-dessus le but, et cette manière d'envisager la chose est justifiée par les résultats obtenus à Vincennes, sous les angles de 0 et de 2 degrés. On peut conclure de ces expériences,

qu'avec la charge de 3 liv. on peut tirer sans donner d'inclinaison jusqu'à 250 mètres et au-delà, en tenant compte de l'indication de la *force du coup* (1) de 236 à 280 mètres.

2 *Degrés.* — Si, pour se former une idée des effets de l'obusier long, on compare les résultats obtenus en 1821 à Strasbourg et ceux des expériences de 1763 avec l'obusier de 6P Gribeauval, dont la charge était de 17 onces, et la boîte composée de 68 balles de 4 ½ onces seulement; on trouve que, si le but des expériences de 1821 eût été aussi de 108 pieds de longueur, il eût été atteint au moins de 39 balles. On ne doit point trouver ce résultat exagéré; car ici les charges et les balles sont plus pesantes; et plus les balles sont grosses, plus les charges sont fortes, moins la dispersion est grande, et l'estimation ci-dessus est plutôt au dessous qu'au dessus du véritable résultat. Nous n'en faisons mention que pour éclairer notre marche.

Il est fâcheux que, dans les expériences faites avec les obusiers longs, on n'ait pas compté séparément les balles qui n'ont fait que toucher le but et celles qui l'ont traversé. Nous n'en pourrons pas moins conclure qu'on peut attendre des

(1) On doit entendre par les mots *force du coup* le point où la majeure partie des balles vient tomber sur le terrain.

obusiers de 6p, avec la charge de 3 liv., et des boîtes de 60 balles de 7 onces, des effets avantageux, jusqu'au delà de 400 mètres, sous l'angle de 2 degrés.

Avec la charge de 4 $\frac{1}{4}$ livres, les résultats obtenus à 421 mètres sont plus faibles que ceux obtenus à La Fère en 1826 à 400 mètres avec la charge de 3 liv.; il paraîtrait que l'angle de 2 degrés ne convenait pas à la distance dans le premier cas; cependant *la force du coup* n'est indiquée qu'à 421 mètres à Strasbourg, à La Fère à 406, et à Vincennes à 314 mètres. Que conclure de là, si ce n'est que sur les terrains couverts de gazon sur lesquels ces expériences ont eu lieu, la force du coup est fort difficile à observer, et que ces résultats ne méritent confiance que lorsqu'ils s'accordent et se vérifient réciproquement. Si on compare les distances de chute des premières et dernières balles sur le terrain, on n'en tirera pas d'autre conclusion.

4 *Dègrés.* — Sous l'angle de 4 degrés, l'avantage des grandes charges se fait fortement remarquer. Le fait est que, par la suppression de 1 liv. $\frac{1}{4}$ dans la charge de poudre et de 12 balles dans la boite, la force du coup a été amenée de 730 mètres à 500, en prenant la moyenne. Ici les indications des premières et des dernières chutes des balles sont fort différentes. Il semblerait que la charge la plus forte, après avoir porté la

beaucoup plus grande, donnerait une portée totale moindre; ce qui est impossible. Mais a-t-on entendu ces mots, *dernière chute des balles*, partout de la même manière? Il est permis d'en douter, d'après les résultats. Enfin, la première chute des balles a-t-elle pu être bien observée sur les terrains des expériences?

Le but était placé à 732 mètres en 1821, à Strasbourg; la force du coup est indiquée à 730. Le panneau a été atteint de 3, 4 balles. Si le but avait eu 108 pieds, en prenant pour base de l'estimation les résultats obtenus avec l'obusier de 6p Gribeauval, et les divergences désignées dans les expériences de 1821, à 431 et 732 mètres, il eût été atteint par 23 balles. Il semblerait donc que ces résultats sont fort satisfaisans; mais ils n'expriment point l'effet réel du coup, parce qu'on n'a point compté séparément les balles qui ont percé le but et celles qui n'ont pu le traverser.

D'après les effets obtenus sous l'angle de 4 degrés avec des charges de 3 liv. et des boîtes de 60 balles, il paraîtrait qu'on peut en attendre des résultats avantageux, de 500 à 550 mètres.

6 *Degrés*. — On continue à reconnaître, par la distance à laquelle la force du coup a porté, l'effet de la charge la plus forte. Les expériences de La Fère, en 1826, et celles de Vincennes, indiquent que la majeure partie des balles est venue

frapper le terrain, de 675 à 682 mètres. Les résultats obtenus à La Fère en 1826, sur le but qui se trouvait placé à 650 mètres, assez bien par rapport au point où la force du coup a porté, semblent donner à penser qu'on peut encore obtenir, au delà de 650 mètres, des effets avantageux de cette boîte sur des buts de 108 pieds de longueur.

Si l'on compare le tableau H avec celui de la page 271 ; on pourra penser que c'est même au delà de 650 mètres, qu'on peut espérer, sur des buts de la longueur précitée, des résultats analogues à ceux du canon de 12, à 750 mètres, autant qu'on peut en juger par l'effet total, puisque les balles qui ont percé le but ne sont pas indiquées séparément de celles qui n'ont fait que le toucher. On peut aussi reconnaître, à l'inspection de tous les résultats, combien les effets de ces boîtes aux distances de 146, 194, 292 et 340 mètres sont considérables; avantage qui est dû au nombre des balles dont les boîtes sont composées, et à leur grosseur.

Les observations faites sur les premières et dernières chutes des balles ne s'accordent pas plus sous l'angle de 6 degrés que sous les autres angles, et nous n'avons rien à ajouter à ce qui a été dit précédemment.

Ainsi, d'après les expériences, les obusiers de 6P avec la charge de 3 liv., et une boîte de 60 balles, seraient inférieurs, dans le tir à balles,

aux canons avec lesquels ils se trouvent en batterie. Nous allons chercher s'il n'y aurait pas moyen d'obtenir des effets plus considérables, à de plus grandes distances.

Nous rappellerons que nous avions été conduits à proposer, pour l'obusier de 10 *liv. stein*, prussien, une boîte de 60 balles de 6 onces (les grosses balles de 12), avec une charge de 3 liv.

Cet obusier pèse 1267 livres (de Prusse), l'affût 1550 liv.; notre obusier pèse 1800 livres (poids de marc), l'affût 1250.

Le système français paraît capable d'une résistance aussi considérable que celui de l'obusier de 10 liv. Les expériences ont justifié cette assertion; et nous avons, pour point de départ, une charge de $1^{k},50$, et une boîte de 60 balles pesant $16^{kilog.}$ Voici, aux grandes distances, et sur des surfaces de $6^{m},60$ de longueur, les résultats obtenus :

		Distance.	Effet.	Distance.	Effet.	Rapport du poids de la charge à celui de la boîte.
Canon de 12.						
Boîte de 41 balles pesant	10^{k}	680^{m}	2,60	780	1,25	$\frac{1}{3}$
Obusier de 6°.						
Boîte de 48 balles pesant	14	732	2,37	869	1,55	$\frac{1}{6,5}$
—— 60 *id.*	16	650	2,80	720	1,00	$\frac{1}{11}$
—— 72 *id.*	18	732	3,40	869	2,33	$\frac{1}{9}$

En les examinant, on voit que 48 balles, avec la charge de $\frac{1}{6,50}$, sont d'un meilleur effet aux grandes distances que 60 balles avec celle de $\frac{1}{11}$; 72 balles, avec la charge de $\frac{1}{9}$ sont plus avanta-

geuses que ces 48 balles avec la charge de $\frac{1}{6,50}$. Il paraîtrait donc que ; dans les limites des résultats présentés ci-dessus, il y a une combinaison dans les poids de la boîte et de la charge, qui donne les résultats les plus avantageux pour la résistance présumée des affûts. Il est prouvé qu'ils ne résisteraient pas aux boîtes de 18$^{kilog.}$, avec la charge de $\frac{1}{6}$. Si l'on adoptait la boîte de 48 balles avec la charge de $\frac{1}{6,50}$ ou $\frac{1}{7}$, on obtiendrait, à la vérité, aux distances de 700 et 780 mètres, des effets à peu près analogues à ceux de la boîte de 41 balles du canon de 12, mais on serait conduit à avoir une boîte à petites balles, pour obtenir aux petites distances des effets semblables; la boîte de 60 balles, avec la charge de 2^k,08, ou $\frac{1}{7,64}$, serait très-probablement trop forte pour les affûts. Les résultats obtenus avec la charge de $\frac{1}{9}$, donnent lieu de croire que la boîte de 60 balles, avec une charge analogue, ne serait pas fort inférieure, aux distances précitées, à la boîte du canon de 12 ; et si nos affûts ont soutenu l'effort des charges de 4 liv. $\frac{1}{4}$, 2^k,08, et des boîtes de 48 balles, ils résisteront probablement à la boîte de 60 balles, avec la charge de 1^k,75, ou $\frac{1}{9}$ du poids de la boîte environ. Nous proposerons donc d'essayer si cette boîte remplit les conditions qui lui sont imposées. Les expériences auront pour objet principal de comparer les canons de 12 et les obusiers de 6^p dans le tir à balles, et de reconnaître si les affûts soutien-

dront le tir continu de 1, 2, 3, 4; etc., approvisionnemens de ces boîtes.

Si l'on veut bien se rappeler les effets avantageux obtenus dans les obusiers, aux petites distances, avec 60 balles de 7 onces, il sera fort inutile d'avoir 2 sortes de boîtes, parce qu'alors les inconvéniens n'en seraient pas compensés par les avantages qu'on pourrait en retirer; inconvéniens qu'on peut atténuer, mais qu'on ne peut faire disparaître entièrement, et qu'on ne doit tolérer que lorsqu'on croit en voir de plus graves à en agir autrement.

Obusier de 24.

Nous suivrons, pour la détermination de la boîte à balles de l'obusier de 24, la même marche, et nous partirons du même principe que pour l'obusier de 6p. Nous allons donc passer en revue les diverses expériences qui ont été faites.

A Strasbourg, en 1821, on mit à l'épreuve, avec des charges de 2 $\frac{3}{4}$ liv., (1^k,34) des boîtes, pesant les unes 26 liv. $\frac{3}{4}$, (13^k,07); les autres 15 liv. (7^k,465), et contenant, les premières 27 balles de 12 onces, les secondes 13 de ces balles. On en a conclu que,

1°. La boîte de 27 balles n'est point d'un assez grand effet, et qu'il faut diminuer le poids de chaque balle, et en augmenter le nombre;

2°. La boîte de 13 balles est encore plus désavantageuse, et ne produit que peu d'effet;

3°. Les affûts ne résisteraient pas au tir de boites de $13^k,07$ avec des charges de $1^k,34$;

4°. Les balles conservent une grande force à une très-grande distance. A 600 toises, sous l'angle de 10 degrés, une seule balle, qui, sur dix coups avait touché le but, avait conservé assez de force pour le traverser.

En 1822, en même temps qu'on faisait des expériences avec l'obusier de 6^p, on en faisait aussi avec l'obusier de 24, dans les écoles de La Fère, Vincennes et Toulouse.

Les boites contenant 70 balles de $0^k,1375$, pesaient de 12 à $13^{kilog.}$, terme moyen, $12^k,50$; la charge pesait, $1^{kilog.}$. Les résultats sont rassemblés dans le tableau H^7, et nous avons cru devoir y ajouter le tableau suivant :

	Obr. de 24.	Obr. de 6po.
	Kilog.	Kilog.
Poids des obusiers.	580,00	885,00
—— des affûts avec les roues, sans les armemens.	516,00	565,00
—— de la boite à balles.	12,50	16,50
—— de l'obus.	7,587	11,503
Le poids de l'obus est contenu dans celui des obusiers (fois).	76,	79,
—— des boites. id.	48,3	55,4
—— de la charge est au poids de l'obus.	$\frac{1}{7,6}$	[illegible]
—— id. au poids de la boite.	[illegible]	[illegible]
—— de la boite contient le poids de l'obus (fois)	1,58	1,43

Un coup d'œil donne les conséquences de ce

tableau. Passons à l'examen de celui H' des expériences.

0 *Degrés.* — L'indication des premières chutes, dans les différentes écoles, n'est point concordante; elle va de 40 à 180 mètres; celle des dernières chutes montre des différences moins considérables. Mais le point où la masse des balles a porté sur le terrain, quoique compris entre les limites de 150 et de 285 mètres, se rapproche généralement plus du premier nombre que du second, et cela s'accorde avec les résultats obtenus à La Fère en 1826. Avec l'obusier de 6p, d'ailleurs, la force du coup est indiquée entre 236 et 280 mètres; elle ne peut donc aller à 285 mètres pour l'obusier de 24.

2 *Degrés.* — Les résultats obtenus à 210 et 260 mètres, sont plus faibles avec 2 degrés d'élévation qu'avec 0 degrés, à 310 et 360 mètres. On ne peut donc pas regarder ces résultats comme exprimant la valeur de la boîte à balles à ces distances. La force du coup irait de 331 à 380 mètres, et les résultats obtenus à 400 mètres ne sont pas de beaucoup inférieurs à ceux des distances moindres indiquées au tableau. Il semblerait donc que c'est de 0 à 2 degrés d'élévation, qu'il faut donner à l'obusier, jusqu'à près de 400 mètres.

4 *Degrés.* — Sous cet angle, la force du coup est indiquée de 420 à 491 mètres. On remarque qu'on a obtenu à Toulouse, à la distance de

330 mètres, de très-faibles résultats. Faut-il l'attribuer au champ d'épreuves moins favorable? Mais sur des terrains à peu près horizontaux, la différence qui pouvait avoir lieu entre eux, n'influe en rien et sur la première chute des balles et sur la distance de la force du coup. Les résultats obtenus à La Fère en 1822 et 1826, font croire qu'il faut attribuer les faibles résultats de l'école de Toulouse, seulement à ce que le but était trop rapproché pour qu'on ait dû tirer sous l'angle de 4 degrés, et que les balles pour la plupart ont dû passer au-dessus.

Si l'on compare les effets fournis par les épreuves de La Fère, à ceux d'une boîte de 41 balles du canon de 8 sur un but de 6^m,60 de longueur, on sera amené à penser que de 450 à 520 mètres, on peut attendre de l'obusier de 24, les mêmes effets que du canon de 8, aux distances de 580 à 680 mètres.

6 *Degrés.* — Sous l'angle de 6 degrés, les résultats les plus avantageux ont été fournis à 600 mètres de distance, ensuite à 550, puis à 520, quoique la force du coup soit indiquée de 520 à 530 mètres. Nous avons déjà dit en quoi consiste la difficulté de bien observer le point où porte sur le terrain la force du coup; mais il paraîtrait que sur les terrains favorables, tels que ceux des épreuves de La Fère et de Vincennes, on peut tirer sous l'angle de 6 degrés jusqu'à 600 mètres;

et il suffit, pour le présumer, de jeter un coup d'œil sur les résultats obtenus à La Fère à 600 et 640 mètres, sous les angles de 4 et 6 degrés.

Les premières chutes des balles ont varié depuis 314 jusqu'à 440 mètres.

Si l'on compare les effets du canon de 8 à 580 mètres, à ceux de l'obusier de 24 à 600 mètres, on voit qu'à ces distances, on peut attendre de l'obusier des effets à peu près analogues à ceux du canon. Il est à regretter qu'on n'ait pas compté séparément les balles qui ont percé le but et celles qui n'ont fait que le toucher; nous pourrions estimer plus positivement les effets comparés des obusiers et des canons; cependant, on paraît autorisé à penser que de 550 à 600 mètres, l'obusier doit donner des résultats supérieurs à ceux du canon de 8; qu'à partir de 600 mètres; l'obusier paraît devenir inférieur au canon; et que la différence entre les distances efficaces de l'un et de l'autre, peut être portée à 100 mètres; en remarquant que, vu la différence entre les poids des boîtes à balles et des charges, un plus grand nombre de balles doit frapper le but sans le percer, avec les obusiers qu'avec les canons.

Quels peuvent être les moyens de rendre les choses égales? Nous allons les chercher dans les résultats des expériences. On a vu, dans celles de Strasbourg, que les affûts n'ont pas paru devoir résister long-temps à l'effort de boîtes pesant

13k,07, avec des charges de 1k,346; il a donc fallu les modifier. On a mis en expérience, l'année suivante, des boîtes de 12kil. à 12k,50, composées de 70 grosses balles de 8, avec une charge de 1kil. En comparant ces charges à celles de l'obusier de 6p, il en est résulté, pour une bouche à feu plus légère par rapport à l'obus, une boîte à balles proportionnellement plus lourde; et en même temps une charge plus légère par rapport à la boîte. Mais il était assez difficile de faire autrement; toutes les balles plus grosses, qui peuvent se ranger avec ordre dans les boîtes, même au nombre de 60, donnent une boîte à balles plus lourde encore que celle qu'on a mise en expérience. Toutes les balles plus petites que celles de 0k,1375 s'écarteraient encore plus, dans leurs effets, du résultat qu'on veut obtenir, que les balles dont on a fait usage. Il ne reste plus que deux moyens pour y parvenir, augmenter le poids de la charge en conservant la boîte actuelle, ou diminuer le poids de la boîte. Relativement au premier moyen, il est à remarquer que les affûts n'ont pas résisté aux boîtes de 13kil., avec des charges de 1k,346.

La charge de $\frac{1}{9}$ du poids de la boîte est 1k,333
Celle de $\frac{1}{10}$ 1k,200
Celle de $\frac{1}{11}$ 1k,09

L'augmentation obtenue dans les effets aux

grandes distances, en adoptant la charge de $\frac{1}{11}$ serait insensible. Avec 1^k,20 et des boîtes de 12^k,50, on n'arriverait pas au résultat cherché; avec la charge de 1^k,333, les affûts ne résisteraient probablement pas.

Il faut donc en venir à diminuer le poids de la boîte; et comme on ne peut en disposer que par couches, elle se trouverait réduite à 56 balles et du poids de 10^k,30. Au moyen d'un cône tronqué en bois blanc, ayant pour épaisseur les $\frac{2}{3}$ du diamètre de la balle et évidé au centre, on peut placer dans la boîte les 4 balles du milieu de la couche dont ce cône tronqué tient la place. Cette boîte pèserait alors 10^k,90, et contiendrait 60 balles.

Si on se rappelle les effets obtenus aux petites distances, avec la boîte de 60 balles de l'obusier de 6^p, on doit en attendre d'analogues avec celle que nous proposons pour l'obusier de 24; en donnant à cette boîte une charge de $\frac{1}{9}$ de son poids, 1^k,21, on peut espérer d'obtenir des résultats semblables à ceux des canons de 8, sur des terrains favorables comme ceux des expériences, aux distances de 650 à 680 mètres. Quel que soit le terrain, nous savons qu'avec des boîtes plus lourdes et des charges plus faibles, sous les angles de 6 et de 8 degrés, la force du coup a été portée de 530 à 580 mètres; que d'après les expériences prussiennes, avec des pièces de 6 et de

12, la distance à laquelle on doit commencer à faire usage du tir à balles sur un terrain inégal, est moindre de 140 mètres, que sur un terrain uni; on peut donc croire que, même dans ce cas, l'obusier ainsi constitué ne serait pas inférieur au canon de 8.

Nous ne pouvons reconnaître si les reculs donnés par ces boîtes, nuiraient beaucoup à la prompte exécution de la bouche à feu. Ceux qui ont été observés dans les expériences de La Fère, ont été obtenus avec des affûts dont les roues reposaient sur des madriers; et malgré cela, sous les différens angles, les reculs ne suivent aucune loi. Les plus considérables ont été obtenus sous l'angle de 10 degrés, et les plus faibles sous celui de 8 degrés; ils ont varié de 11 à 16 pieds.

Les hausses à employer ou les degrés d'inclinaison à donner aux obusiers, aux différentes distances, ne sont point encore déterminés d'une manière assez positive; nous avons cherché à les indiquer dans l'examen des expériences.

Quant à l'écartement des balles et à leur dispersion, nous ne pouvons pas les présenter d'une manière satisfaisante. Les résultats fournis par les expériences sont seulement approximatifs et ne s'accordent pas entre eux. Il paraît qu'à La Fère on a pris l'écartement à la dernière chûte. Nous n'avons pu nous assurer si à Toulouse il avait été

pris à la force du coup; mais il ne paraît pas que cela ait eu lieu ainsi, puisque les tableaux des expériences ne font pas mention de la distance à laquelle la majeure partie des balles a porté sur le terrain.

A Vincennes, on a mesuré l'écartement à la force du coup, il a été dans les limites suivantes :

Obr. de 6o.	de 0° à 4 degrés de	5 à 35 tois.	ou 30 à 210 pieds.
	de 6 à 8	15 à 45	90 à 270
Obr. de 24.	de 0 à 4	15 à 30	90 à 180
	de 6 à 8	20 à 50	120 à 300

En prenant les différences entre les écartemens sous les différens angles, on voit qu'ils n'observent aucune loi.

Nous n'avons aucun moyen de comparer la dispersion des canons et celle des obusiers, parce que l'une a été prise sur le nombre de balles qui ont frappé le panneau en planches, et l'autre sur le terrain, au point où les balles sont tombées en plus grand nombre (1).

Boîtes à balles des canons de siége et de Place.

En admettant que, dans l'attaque et la défense des places, le tir à balles ne sera pas employé au delà de 584 mètres, et qu'on ne doit en faire usage que contre les troupes qui ne sont point

(1) L'auteur du mémoire a désiré que l'on supprimât à l'impression, la partie de son travail dans lequel il avait traité l'emploi des boîtes à balles sur les champs de bataille.

couvertes par les travaux d'attaque ou les ouvrages de la place, il deviendra facile de déterminer les boîtes à balles des canons de gros calibre.

La question se réduit à trouver pour les canons de ligne et de place, les boîtes à balles qui, jusqu'à 580 ou 600 mètres, seront les plus avantageuses.

Pièce de 24. — On donne maintenant aux canons de 24 :

Une boîte du poids de $16^k,60$, environ 1,40 fois le poids du boulet; une charge de $4^k,40$, environ le $\frac{1}{14}$ du poids de la boîte.

La boîte est composée de 34 balles.

Chaque balle pèse $0^k,428$.

D'après ce qui a été dit jusqu'à présent, et d'après les poids respectifs des canons et des affûts de siége et de campagne, on serait autorisé à penser que la charge de $\frac{1}{3}$ du poids du boulet, avec une boîte pesant 1,90 à 1,95 fois ce dernier, ne donnerait pas des reculs trop considérables, et ne nuirait pas à la résistance des affûts. Les expériences faites avec les canons de 12 de campagne font connaître que 41 balles de $0^k,215$, à 700 mètres, donnent des résultats fort avantageux; nous adopterons pour la pièce de 24 les balles de cette grosseur, qui seront au nombre de 94 dans les boîtes, si elles peuvent toutefois s'y loger par couches complètes.

Mais si on considère qu'on ne doit faire usage

de ces balles de $0^k,215$, que jusqu'à 584 mètres, on pourra croire que la charge de $\frac{1}{4}$ du poids du boulet pour cette distance, et pour les distances moindres, sera aussi avantageuse que toute autre, et qu'elle doit être préferée.

Les effets produits aux petites distances par la boite que nous proposons seront assez considérables, pour qu'il n'y ait nul besoin d'avoir une seconde boîte, formée de balles plus petites.

Pièce de 16. — Les mêmes principes nous conduiront à proposer pour la pièce de 16 une boîte de 94 balles de $0^k,1375$, du poids total de 15^k, avec une charge de $2^k,445$.

Pièce de 12. — Pour tirer jusqu'à 584 mètres, on pourra employer avec la pièce de 12, les balles de 8 par couche, dans une boîte pesant environ 2 fois le boulet; ces balles, du poids de $0^k,137$ seraient au nombre de 80 dans chacune des boîtes. La charge sera renfermée dans les limites de $\frac{1}{5}$ et de $\frac{1}{6}$ du poids de la boîte. Il serait peut-être nécessaire de faire quelques expériences pour reconnaître si la charge de $\frac{1}{5}$, plus favorable à l'effet, ne fatiguerait point trop les affûts et ne donnerait pas des reculs trop considérables. Il ne faut pas perdre de vue, dans ces expériences, que l'on peut avoir à tirer par-dessus les défenseurs du chemin couvert, et qu'en conséquence il est important de noter avec une scrupuleuse attention la première chute des balles.

Pièce de 8. — Si, avec les canons de 8, on doit satisfaire à la condition de tirer jusqu'à 584 mètres et obtenir aux petites distances les effets avantageux qu'on doit attendre du tir à balles, il faut avoir recours à deux boîtes; et celles qui paraissent préférables, sont celles des canons de campagne, augmentées d'une couche de balles en plus, avec une charge de 1k,70, ou $\frac{1}{6}$ du poids de la boîte.

Pièce de 4. — On ne peut satisfaire à la condition de tirer jusqu'à 584 mètres, si on veut obtenir du tir à balles des effets avantageux. Les boîtes qui rempliront le mieux les conditions du problème, et qui approcheront davantage de ce résultat, sont celles des canons de campagne, augmentées d'une couche de balles, avec la charge de 0k,80, un cinquième environ du poids de la boîte.

Aucunes expériences à nous connues ne nous ont permis de déterminer les hausses à employer avec les boîtes que nous venons de proposer. Il serait bon qu'elles fussent faites. Il faudra avoir égard au commandement que ces pièces ont en général, dans la défense, sur les terrains environnans, et reconnaître jusqu'à quel point il serait dangereux de tirer, avec ces boîtes à balles, par-dessus les défenseurs du chemin couvert.

Il faudra chercher aussi à reconnaître l'épaisseur qu'il convient de donner aux culots des boîtes, en prenant pour point de départ les culots en usage.

Programme d'expériences.

Si l'on veut comparer, sur un même terrain, des balles de même grosseur, dans des boîtes de même poids ou de poids différens, avec des charges égales ou non égales, il faut d'abord qu'il n'y ait de différence que dans les objets que l'on veut mettre en parallèle. Ensuite, il faut se donner les moyens d'observer exactement les résultats, non-seulement en tenant compte de l'effet sur un but, séparant les balles qui percent ce but, de celles qui ne font que le frapper sans le percer, mais encore en relatant, comme dans les dernières expériences faites en France, le point où la masse des balles a porté sur le terrain; renseignement très-important, en ce qu'il donne de suite un aperçu assez approché des effets qu'on est en droit d'attendre sur les terrains moins favorables, et qu'il pourra servir de guide pour éviter de nombreux tâtonnemens dans les expériences de *haut en bas*, de *bas en haut*, et d'une *montagne à l'autre*.

On observera l'écartement des balles à ce point de chute que l'on a nommé *force du coup*; mais ces observations sont fort difficiles à faire sur les terrains des polygones, et deviennent de plus en plus difficiles, à mesure que les traces des

balles se multiplient. Nous avons pensé que le moyen de se procurer avec quelque certitude ces résultats était, en s'aidant des mesures données par les expériences précédentes, de disposer dans les polygones, pour les épreuves des boîtes à balles, un terrain particulier. A cet effet on fera enlever la surface du gazon, avec le moins de terre possible, sur une largeur proportionnée à la plus grande extension des coups à balles aux différentes distances. On tracera sur le terrain les directrices parallèles des pièces, et on placera sur ces directrices, et sur des parallèles aux directrices extrêmes, autant qu'il sera nécessaire, de 5 en 5 mètres, de petits piquets numérotés, enfoncés à ras de terre, indiquant la distance à la bouche à feu. Après avoir relevé exactement à chaque coup le point de chute des balles, on passera le râteau sur le terrain, perpendiculairement aux lignes de tir. Pour faciliter ce relevé, on aura une feuille lithographiée, représentant exactement le terrain, avec les directrices tracées, les piquets numérotés et les lignes passant par ces piquets perpendiculairement aux directrices, lignes qui tracées sur le terrain, l'eussent divisé en portions rectangulaires. La position du but ne sera inscrite qu'au fur et à mesure. Un observateur, ayant 150 mètres au plus à parcourir, relèvera à vue, dans les divisions tracées sur le papier, la chute des balles. Un

observateur ou deux relèveront la force des coups; un autre, les portées totales auxquelles parviennent la majeure partie des balles.

Avant de placer le but, il serait peut-être utile de tirer un certain nombre de boîtes à balles, au moins cinq, pour établir la position de la force du coup, renseignement dont nous avons signalé l'importance; ce résultat servirait à déterminer la position du but. Si on le jugeait nécessaire, il serait placé d'abord en avant, puis en arrière du point de la force du coup, afin de reconnaître, sur les terrains favorables, l'effet des balles qui ricochent, et de savoir sur quoi compter, sur les terrains où cela ne pourrait pas avoir lieu.

La longueur du but sera déterminée par l'expansion présumée de la masse des balles, en négligeant les balles extrêmes; il sera divisé, comme celui des expériences de Strasbourg en 1764, en parties de $0^m,50$ verticalement et horizontalement; à partir du haut du but, des lignes indiqueront les hauteurs de $1^m,90$, $2^m,20$ et $2^m,50$ au-dessus du terrain. Il sera fait un dessin lithographié du but, et les balles qui l'auront atteint y seront rapportées exactement, en indiquant celles qui auront traversé par un zéro, et les autres par une petite croix. De cette manière on aura en même temps les effets sur des surfaces de différentes longueurs.

Toutes les feuilles lithographiées seront fixées sur des planchettes à poiguée, de manière à pouvoir être facilement changées à chaque coup.

On aura surtout le plus grand soin de ne jamais se presser ; de laisser aux observateurs tout le temps nécessaire ; de ne pas faire de séances trop longues qui les fatiguent, et nuisent par là à l'exactitude des relevés.

Si les expériences ont pour objet de connaître l'effet réel d'une boîte donnée sur un terrain quelconque, il faudra agir sur le terrain tel qu'il est, en ayant soin de le faire, auparavant, lever et niveler exactement, et d'en avoir une description détaillée. Le panneau, construit comme il a été dit plus haut, sera placé en avant ou en arrière de la force du coup, suivant la direction qu'on veut donner aux expériences. Les observations auront lieu comme il a été dit ci-dessus.

Il faut avoir soin de tirer un nombre de coups suffisant pour donner quelque certitude à chacun des résultats.

Nous avons sans doute omis quelques-unes des précautions qui doivent être imposées aux commissions chargées d'expériences sur le tir à balles ; mais s'il est nécessaire d'en prendre d'autres qui ne peuvent être prévues à l'avance, c'est aux membres de ces commissions qu'il appartient de les découvrir, en suivant et examinant soigneu-

sément les résultats. On ne saurait y mettre trop de soin ; des expériences mal faites, loin de pouvoir être utiles, accréditent des erreurs.

Nous allons indiquer les expériences nécessaires pour déterminer complétement les règles qui doivent régir la construction et l'emploi des boîtes à balles.

Canons. — Essayer d'abord, avec la charge de $\frac{1}{3}$ du poids du boulet, les boîtes de 42 et 48 balles, dans les canons de 12 et de 8 ; ensuite, avec ces boîtes, des charges plus fortes et toujours proportionnelles aux poids des boîtes ; mettre ensuite une couche de balles de plus ; composer les boîtes de 54 balles, et les tirer avec les charges dont on a déjà fait usage, et des charges plus fortes, proportionnelles à leur poids, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on ait pu déterminer avec certitude que les affûts ne résisteraient pas au tir prolongé des dernières boîtes et des dernières charges employées. On observera avec soin, pendant le tir, les dégradations successives des affûts, afin que ces expériences puissent, une fois pour toutes, constater la limite supérieure de leur résistance pour le tir à balles. On reconnaîtra en même temps l'effet de l'action des balles contre les parois de l'âme des canons, et les dégradations survenues pendant le tir.

On devra constater la relation qui a lieu entre les distances et les effets des boîtes à balles sur

le but en planches, soit qu'on augmente le poids des boites par le nombre des balles, soit qu'on augmente la charge, soit enfin qu'on augmente l'un et l'autre.

Observer la dispersion qui a lieu, aux différentes distances, sur le but en planches et à la force du coup, et la loi qu'elle peut suivre par rapport à la distance; observer en même temps les effets sur les différentes surfaces dans lesquelles le but peut se décomposer, et la relation de ces effets avec les distances.

Comparer les boites à pivot aux boites ordinaires, afin de constater les avantages que peuvent offrir les premières, et reconnaître s'il serait avantageux de fixer le pivot au culot de la boite à balles. Essayer, si on le juge convenable, quelques boites à petites balles sans pivot, et d'autres à pivot, pour les comparer.

Chercher par des expériences comparatives, entre des canons de place et de campagne du même calibre, quel peut être l'effet de la plus grande longueur des canons sur les résultats du tir à balles, toutes choses égales d'ailleurs.

Compléter la table des hausses des canons de campagne, et faire varier les hausses de manière à s'assurer des résultats. Pour éviter les tâtonnemens, employer, en avant du but en planches, les petits buts des expériences de Strasbourg en 1764; on pourra juger, par l'effet sur ces buts,

si on approche, dans les essais, de la véritable hausse.

Faire des expériences, ou profiter de celles qu'on a proposées ci-dessus, pour s'assurer s'il serait avantageux de diminuer le poids des culots des boîtes à balles, et pour les amener à leurs justes dimensions.

Obusiers. — Faire, avec les obusiers, des expériences analogues à celles qu'on a faites avec les canons, en ce qui leur est applicable, en partant des données des expériences de 1822; essayer ensuite les boîtes proposées avec les mêmes charges, puis avec celles de $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{8}$ du poids de la boîte; prendre ensuite des boîtes ayant une couche de balles de plus, avec les charges dont on fait usage, puis avec des charges plus fortes, en continuant ainsi jusqu'à ce que les affûts paraissent ne plus devoir résister; lier ces expériences avec celles qu'on a faites avec les canons, en ne laissant de différences que dans les choses qui sont dépendantes du diamètre de l'âme des bouches à feu, afin d'avoir un moyen de comparer les effets produits sur les affûts par la forme de l'âme, et en même temps ceux qui sont produits par des projectiles plus lourds avec des charges moindres.

Si on veut entreprendre des expériences sur les terrains accidentés, il faudra préalablement avoir un levé exact du terrain et en donner une des-

cription claire et détaillée. Faire varier les hausses employées dans le tir, afin de reconnaître celles qui seraient le plus avantageuses; relever le plus exactement possible l'effet des boîtes à balles; tenir compte de toutes les circonstances du tir; vérifier si les règles que nous avons cru devoir donner pour déterminer les hausses sont applicables dans la pratique.

Enfin une autre série d'expériences faites avec les mêmes soins et des précautions analogues pourrait avoir pour objet de déterminer la charge des pièces de 24 et 16, etc., la plus favorable à l'effet des boîtes, aux distances de 584 mètres et au-dessous; de reconnaître si celles qui sont proposées sont les plus avantageuses; de déterminer les hausses à employer aux différentes distances, avec les boîtes à balles des canons de 24, 16, 12, 8 et 4 de siége et de place, en ayant égard au commandement des ouvrages, et en plaçant, sur la banquette du chemin couvert, un but en planches de la hauteur d'un homme, qui donnerait les moyens de reconnaître jusqu'à quel point il y a possibilité de tirer sans danger, par-dessus les défenseurs du chemin couvert.

NOTE

SUR LES EXPÉRIENCES FAITES A STRASBOURG EN 1764.

Avant de présenter les tableaux sommaires des expériences de Strasbourg, nous avons cru devoir chercher à reconnaître, jusqu'à quel point nous pouvions leur accorder confiance.

On a prétendu qu'elles donnaient une idée fausse de l'effet des coups à balles, parce que la nature et la forme très-favorable du terrain sur lesquel elles ont eu lieu, auraient contribué à donner des effets trop considérables. Nous avons comparé, pour apprécier toute la valeur de cette objection, les expériences qui ont eu lieu en Prusse, et qui sont rapportées dans les tables 33 à 39 du livre de Scharnhorst, sur le terrain *uni et favorable* et sur le terrain dit *sablonneux*; nous avons déjà dit notre opinion sur les expériences faites avec les pièces de 6 et de 12, pag. 235. Voici les résultats obtenus.

	Pièces de 12, balles de 6 onces		Pièces de 6, balles de 3 onces			
			Pesante		Légère	
	Qui ont percé le but.	Qui ont seulement frappé.	Qui ont percé le but.	Qui ont seulement frappé.	Qui ont percé le but.	Qui ont seulement frappé.
A 337 fois du but en planch. — Sur le terrain uni.	4,50	12,40	1,80	8,90	1,50	1,20
A 337 fois du but en planch. — *Idem*, sablonneux.	4,40	8,	1,30	10,50	1,20	10,70

Quelle que soit la différence du *terrain uni* des expériences prussiennes à celui des expériences de Strasbourg, les résultats ci-dessus donnent les moyens d'apprécier la différence dans les effets, causée par celle des terrains, lorsqu'ils sont l'un et l'autre favorables au tir à balles. Néanmoins, pour ne pas nous exposer à présenter des résultats que l'usage pourrait démentir sur les terrains ordinairement jugés avantageux, comme il semble que l'influence du sol doit principalement se faire sentir sur les balles qui ricochent, nous ne compterons dans les épreuves de Strasbourg que les balles qui auront percé le panneau ou but en planches, et ne tiendrons aucun compte de celles qui n'ont fait que frapper sans percer. Si on veut bien prendre en considération la disposition des buts dans ces expériences, on pourra croire que, lorsque nous avons dit que le tir à balles pourrait remplacer le tir à boulet, dès le moment où le but a été percé de six balles, nous nous sommes tenu dans les véritables limites des effets obtenus sur les terrains unis.

Nous croyons devoir attribuer la supériorité des résultats observés à Strasbourg, à une autre cause dont on appréciera l'importance; c'est que les balles de la boîte de 12 française pèsent $0^{k},215$, et que les grosses balles de 12 prussiennes ne pèsent que $0^{k},175$; l'effet de cette supériorité de poids de nos balles a dû surtout se faire sentir

aux grandes distances auxquelles les boites de 41 balles de 12 ont été éprouvées.

Un coup d'œil rapide sur les tableaux sommaires ci-joints, montre que les résultats obtenus à Strasbourg l'ont été en général par un très-petit nombre de coups; qu'on est par là fort restreint dans la comparaison qu'on peut en faire, et qu'on ne peut s'en servir avec la même confiance que de ceux des expériences prussiennes qui ont été faites avec plus d'ordre, de méthode et de moyens d'assurer les résultats. Il n'en est pas moins vrai de dire que les expériences de Strasbourg ont conduit à un système de boites à balles que les expériences faites plus tard ont justifié, puisque le système des boites à balles en Prusse est fondé sur les mêmes principes généraux.

Nous ferons observer que, dans les expériences de Strasbourg, on a tiré les pièces longues et les pièces courtes, avec les mêmes hausses; nous avons eu égard aux angles auxquels ces hausses correspondaient.

Toutes les fois qu'il a été fait usage des résultats ci-joints, on a toujours choisi ceux qui ont été fournis par la hausse la plus favorable, c'est-à-dire ceux qui étaient les plus avantageux, toutes les autres circonstances égales.

Tableaux sommaires des expériences de Strasbourg en 1764.

On a essayé, d'abord, des grappes de raisin qui ont été promptement abandonnées, et on a continué les expériences avec des boîtes à balles, construites, à peu de chose près, comme elles le sont aujourd'hui, renfermant des balles de fer coulé ou des balles de fer forgé. Les premières ont été rejetées, principalement parce qu'elles se brisaient, et parce que leurs effets étaient moins considérables que ceux des balles de fer forgé, qui ont été essayées au nombre de

12	balles de	3 par couches	dans le canon de	4
20	*id.*	4	*id.*	8, 4 et 3
25	*id.*	5	*id.*	3
30 et 35	*id*	5	*id.*	12 et 8
41	*id.*	7	*id.*	12, 8 et 4
63	*id.*	sans ordre	*id.*	4
112	*id.*	10 autour, 4 au centre	*id.*	12 et 8
138	*id.*	sans ordre	*id.*	8
170	*id*	19 par couche	*id.*	12

Le but était placé dans la plaine de Hoeneim, très-favorable à l'effet des coups à balles. Il avait 108 pieds de long et 8 pieds de haut, et était divisé, par des lignes noires, en carreaux de 18 pouces de côté.

A 50 toises de distance, on avait placé un autre but de 96 pieds de long et de 3 pieds de haut, et à 50 toises de celui-ci, un but de même hauteur et de 84 pieds de long.

PIÈCE DE 12 LONGUE.

Nombre de coups.	Distance.	NOMBRE DE BALLES qui ont atteint — Le grand but. — Percé.	Le grand but. — Touché.	Le but à 50 toises. — Percé.	Le but à 50 toises. — Touché.	Le but à 100 toises. — Percé.	Le but à 100 toises. — Touché.	Hausses.
	Boites de 41 balles. — Charge, 4 liv. $\frac{1}{4}$.							
	Toises.							Pouces.
2	300	12	5 $\frac{1}{2}$	8 $\frac{1}{2}$	0	6 $\frac{1}{2}$	3	$\frac{1}{2}$
	Charge, 4 liv. $\frac{3}{4}$.							
2	300	11	2 $\frac{1}{2}$	5	0	8 $\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$
	Charge, 4 liv. $\frac{2}{4}$.							
2	350	3 $\frac{1}{2}$	8	5	2 $\frac{1}{2}$	7	0	1
	Charge, 4 liv. $\frac{1}{4}$.							
2	350	7	3 $\frac{1}{2}$	5	$\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	Charge, 4 liv. $\frac{1}{4}$.							
1	400	2	9	3	1	3	0	1 $\frac{1}{2}$
1	400	2	6	1	0	5	0	2
	Charge, 4 liv. $\frac{1}{4}$.							
2	400	1	4 $\frac{1}{2}$	3	1	2	0	2
	Charge, 4 liv. $\frac{1}{2}$.							
2	350	5 $\frac{1}{2}$	3	3	0	4 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
4	350	7 $\frac{3}{4}$	2	4 $\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	1 $\frac{1}{2}$
6	350	10 $\frac{1}{6}$	3	4 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{6}$	2
1	400	4	6	2	2	6	0	2 $\frac{1}{2}$
2	400	1 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	3
5	400	4	4	2 $\frac{3}{5}$	$\frac{4}{5}$	2 $\frac{1}{5}$	0	3 $\frac{2}{5}$
4	400	5 $\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{4}$	1 $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	1 $\frac{3}{4}$	0	4
	Boites de 30 balles à 5 par tour. — Charge, 4 liv. $\frac{1}{2}$.							
6	350	7 $\frac{5}{6}$	2	4	0	4 $\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	1
1	400	2	4	5	1	4	1	1
5	400	3 $\frac{4}{5}$	2	2 $\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	3 $\frac{2}{5}$	$\frac{2}{5}$	1 $\frac{1}{2}$

PIÈCE DE 12 COURTE.

Nombre de coups.	Distance.	NOMBRE DE BALLES qui ont atteint — Le grand but.		Le but à 50 toises.		Le but à 100 toises.		Hausses.
		Percé.	Touché.	Percé.	Touché.	Percé.	Touché.	
Boîtes de 41 balles. — Charge 4 liv. $\frac{1}{4}$.								
	Toises.							Pouces.
12	300	12 $\frac{1}{12}$	1 $\frac{2}{12}$	5 $\frac{1}{3}$	1	5 $\frac{5}{12}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{8}$
2	350	5	5 $\frac{1}{2}$	7	$\frac{1}{2}$	5	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{8}$
10	350	7 $\frac{1}{10}$	3 $\frac{7}{10}$	4	1 $\frac{1}{10}$	3 $\frac{3}{5}$	$\frac{1}{2}$	1
4	400	4 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{3}{4}$	1	4 $\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	1 $\frac{3}{8}$
8	400	4 $\frac{1}{8}$	3 $\frac{1}{8}$	3	1	2	$\frac{1}{4}$	2
Boîtes de 112 balles.								
1	200	30	11	10	2	6	0	0
1	200	31	8	9	0	15	0	$\frac{3}{8}$
1	200	30	12	9	0	15	0	$\frac{1}{4}$
3	250	21 $\frac{1}{3}$	12 $\frac{2}{3}$	18 $\frac{2}{3}$	3 $\frac{2}{3}$	11 $\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$
1	300	7	12	13	9	15	3	$\frac{1}{2}$
7	300	7 $\frac{1}{7}$	14 $\frac{1}{7}$	12	6 $\frac{4}{7}$	13 $\frac{1}{7}$	1 $\frac{2}{7}$	1
4	300	10 $\frac{1}{8}$	7	9 $\frac{1}{4}$	6	11	0	1 $\frac{3}{8}$
Boîtes de 170 balles.								
2	300	4 $\frac{1}{2}$	12	8	9 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$
7	300	5 $\frac{1}{4}$	9	5 $\frac{4}{7}$	7 $\frac{5}{7}$	7 $\frac{3}{7}$	2 $\frac{2}{7}$	2 $\frac{1}{4}$
2	300	4	14	6	8 $\frac{1}{2}$	8 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	2
1	300	4	6	6	5	12	4	1 $\frac{1}{8}$

PIÈCE DE 8 LONGUE.

Nombre de coups.	Distance.	NOMBRE DE BALLES qui ont atteint — Le grand but.		Le but à 50 toises.		Le but à 100 toises.		Hausses.
		Percé.	Touché.	Percé.	Touché.	Percé.	Touché.	
Boîtes de 41 balles. — Charge 3 liv. $\frac{1}{2}$.								
	Toises.							
5	250	12 $\frac{4}{5}$	1 $\frac{4}{5}$	7 $\frac{3}{5}$	0	4 $\frac{4}{5}$	1 $\frac{4}{5}$	$\frac{1}{2}$ (nég.)
1	250	14	3	8	0	5	0	0
13	300	9 $\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{4}$	5 $\frac{9}{13}$	$\frac{1}{13}$	4 $\frac{2}{13}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{2}$
3	300	6	5	4 $\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	4 $\frac{1}{3}$	1	1
2	350	6 $\frac{1}{2}$	4	1 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0	2
1	400	1	7	0	0	1	0	2
1	400	0	6	0	0	2	1	3
Boîtes de 35 balles, dont 30 de 5 par tour, et 5 de 6 par tour au milieu.								
8	350	3 $\frac{1}{8}$	4	4 $\frac{7}{8}$	$\frac{5}{8}$	4	$\frac{3}{8}$	1
3	350	7 $\frac{2}{3}$	3 $\frac{2}{3}$	3	1	8	$\frac{2}{3}$	1 $\frac{2}{3}$
1	350	0	8	2	3	3	0	2
Boîte de 30 balles, à 5 par tour.								
6	400	3 $\frac{5}{6}$	4	2	$\frac{1}{3}$	2	$\frac{1}{3}$	2
Boîte de 25 des mêmes balles.								
6	400	2 $\frac{1}{6}$	2 $\frac{1}{6}$	1 $\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{6}$	0	2
Boîte de 20 balles.								
12	450	2 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{3}{4}$	1 $\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	1 $\frac{1}{3}$	$\frac{1}{12}$	2 $\frac{1}{3}$
Boîtes de 30 balles à 5 par tour, avec pivot en bois dur au milieu.								
2	350	4	3	6 $\frac{1}{2}$	0	2 $\frac{1}{2}$	0	1 $\frac{1}{2}$
1	360	7	0	1	0	3	0	2
2	400	4 $\frac{1}{2}$	2	2 $\frac{1}{2}$	0	2	0	2
1	400	3	3	2	2	0	0	3
Boîtes de 30 des mêmes balles sans pivot.								
2	350	3	2	3	$\frac{1}{2}$	2	$\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$
1	350	4	0	2	0	1	1	2
2	400	$\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	2	0	$\frac{1}{2}$	0	2
1	400	5	3	4	0	2	0	3

PIÈCE DE 8 COURTE.

Nombre de coups.	Distance.	NOMBRE DE BALLES qui ont atteint — Le grand but. Percé.	Le grand but. Touché.	Le but à 50 toises. Percé.	Le but à 50 toises. Touché.	Le but à 100 toises. Percé.	Le but à 100 toises. Touché.	Hausse.
			Boîtes de 41 balles. — Charge 2 liv. 1/4.					
	Toises.							Pouces.
2	300	4	5	2 2/3	[illegible]	6	0	0
10	300	8 1/2	4 6/10	4 7/10	1 1/10	5	[illegible]	1/2
12	350	4 7/12	4 1/4	3 4/12	1 2/3	4 7/12	1/4	1
6	400	1 1/3	4 1/6	4	4 1/6	4	1/3	1 1/2
2	400	2	1 1/2	4 1/2	1	2	0	2
4	400	1 1/4	4 3/4	2 1/2	1 1/4	2	1/4	2 1/2
			Boîtes de 112 balles.					
3	200	26	9	13	1 1/3	10 1/2	1/2	1/4
3	250	10 1/2	11 1/3	12	5	13 1/7	1 1/4	1/2
			Boîtes de 138 balles.					
2	300	3	15	7 1/2	8 1/4	16	4	1
2	300	6	19	5 1/2	5	6	1/2	1 1/2
6	300	6 5/6	14	6	5 1/3	7 1/9	1 1/6	1 1/4
2	300	3 1/2	11 1/2	3	2	2	0	2

PIECE DE 4 COURTE, *dite* SUÉDOISE.

Nombre de coups.	Distance.	NOMBRE DE BALLES qui ont atteint — Le grand bût. Percé.	Le grand bût. Touché.	Le but à 50 toises. Percé.	Le but à 50 toises. Touché.	Le but à 100 toises. Percé.	Le but à 100 toises. Touché.	Hausses.
		Boîte de 41 balles. — Charge 1 liv. 1/2.						
	Toises.							Pouces.
3	200	15 2/3	2 1/3	6 1/3	1/3	4 2/3	0	0
		Charge 1 liv. 1/4.						
3	200	13 1/3	2	6 2/3	2/3	3	0	0
		Charge 1 liv. 1/2.						
3	250	9 1/3	4	5	1/3	2 1/3	0	1 1/2
		Charge 1 liv. 3/4.						
3	250	8 1/3	2 2/3	3 1/3	1	4	0	1 1/2
		Charge 1 liv. 1/4.						
4	300	3 1/4	3 1/2	1 1/2	1/4	1	0	2
		Charge 1 liv. 1/2.						
4	300	4	3	2 1/4	1/4	1	0	2
		Charge 1 liv. 1/2.						
2	300	3 1/2	6	3	1	1	1	1 1/2
		Charge 1 liv. 3/4.						
2	300	3 1/2	5 1/2	3 1/2	4	2 1/2	1 1/2	1 1/2
		Boîtes de 41 balles. — Charge 1 liv. 1/4.						
3	200	13 1/3	2	6 1/3	1/3	3	0	0
8	250	8	4 1/2	5 1/4	1/2	6 1/2	0	0
7	250	7 1/2	2	4	3/4	1/7	0	1/2
6	250	6 1/2	4 1/3	4 2/3	1 1/2	4 1/2	1/7	1/4
2	250	5	3 1/2	2 1/2	1	4	1/2	1
1	300	[illegible]	8	5	1	7	1	0
7	300	2 1/7	6 3/7	1 [illegible]	4/7	4 1/7	0	1/7
2	300	2 [illegible]	6	2 1/2	[illegible]	1 1/2	1	1
12	300	3 [illegible]	4 1/6	2 1/2	1 1/6	1 1/2	1/3	1 1/2
6	300	2 [illegible]	4 1/2	1 1/6	2/7	1 4/6	1/6	2
2	350	1/2	3	2 1/2	0	1/2	0	2
7	350	2 3/4	3	1 2/7	3/7	1/2	1/7	2 1/2
2	350	1/2	3	0	1 1/2	1 1/2	1/2	3

PIÈCE DE 4 COURTE.

Nombre de coups.	Distance.	NOMBRE DE BALLES qui ont atteint — Le grand but. Percé.	Le grand but. Touché.	Le but à 50 toises. Percé.	Le but à 50 toises. Touché.	Le but à 100 toises. Percé.	Le but à 100 toises. Touché.	Hausse.
				Boîtes de 63 balles.				
	Toises.							Pouces.
2	200	11 ½	2 ½	5	½	1 ½	0	½
2	200	8	4	2 ½	0	1 ½	0	1
6	250	8 ⅓	7 ⅓	5 ⅙	1	4	0	¼
6	250	6 ⅙	10	5	⅓	4 ⅓	⅙	1
				Boîtes de 12 balles.				
1	300	0	0	0	0	0	0	2
1	300	3	0	0	0	3	0	1 ½
4	300	2	1 ¼	2 ¼	0	1	0	⅛
				Boîtes de 20 balles.				
2	300	6 ½	1	2 ½	0	3 ½	0	0
2	300	4	1	1	½	1	0	¼
10	300	4 ⅗	2	2 ⅗	3/10	2 ⅗	⅕	⅕
4	300	5 ¼	1 ½	2 ¼	¼	1 ½	0	1
6	350	2 ⅔	1 ⅙	1 ⅚	⅙	1 ⅓	⅔	1

PIÈCE DE 4 LONGUE.

Boites de 41 balles. — Charge 2 liv. ¼.

Nombre de coups.	Distance.	Le grand but. Percé.	Le grand but. Touché.	Le but à 50 toises. Percé.	Le but à 50 toises. Touché.	Le but à 100 toises. Percé.	Le but à 100 toises. Touché.	Hausse.
1	250	10	3	7	2	12	1	0
2	250	10	5	8 ½	½	7 ½	0	¼
1	250	2	2	5	1	4	0	½
1	300	3	5	4	7	9	0	0
8	300	7 ⅓	5 ⅛	2 ⅓	1 ¼	3 ½	0	1 ⅛
3	300	4	3 ⅓	3	⅓	2 ⅓	0	2 ¼
2	350	1 ½	2	2 ½	0	3 ½	1	2 ¼
2	350	1	3 ½	1 ½	½	2 ½	0	2 ½

ONS

Par rapport à la boite à balles.		De 3.							
		POIDS.							
								Par rapport à la boite à balles.	
Boulet.	Charge.	Canons.	Affûts.	Boulets.	Boulets.	Canons par rapport au boulet.	Charge par rapport au boulet.	Boulet.	Charge.
		Kilog.	Kilog.	Kilog.	ogr.				
1/1.71	1/3.09	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	628	»	2.72	360	227	[illegible]	1/2.56	1/4.49
»	»	401	»	2.67	»	»	»	»	»
»	»	414	478	2.78	302	173	1/1.03	1/2.49	1/1.47
»	»	360	436	2.62	»	»	»	»	»
		3 léger.							
		304	»	2.71	360	102	1/4	1/2.33	1/4.87

balles des canons de 1

B. *TABLEAU présentant l'effet total de cinq coups pour chaque distance, tirés par un canon de 12, avec différentes charges.*

Distances.		Balles de	Hausses.	Charge 4 liv. ½.		Charge 4 liv.	
				Balles qui ont		Balles qui ont	
Pas.	Mètres.			Percé.	Touché.	Percé.	Touché.
		onces.					
500	365	1 ½	»	127	85	132	85
600	438	»	»	75	133	85	136
700	511	»	»	51	167	43	162

B'. Avec une pièce de 6 pesante ; les résultats sont les moyennes de 10 coups.

Distances.		Balles de	Hausses.	Charge 3 liv.		Charge 2 liv. ¾.	
Pas.	Mètres.		Pouces.	Percé.	Touché.	Percé.	Touché.
		onces.					
600	438	3	But en blanc.	10,80	1,70	10,70	4,20
			1°.	8,40	1,00	9,40	1,50
800	584	»	B. en bl.	3,70	10,70	3,50	11,80
			1°.	5,30	9,20	4,90	9,40
900	657	»	B. en bl.	1,80	8,90	0,80	7,40
			1°.	1,60	10,90	1,50	10,50

C. *TABLEAU des coups tirés par une pièce longue et une pièce courte de 6, à différentes distances, avec la même charge de 2 liv.* ¼.

Distances. Pas.	Distances. Mètres.	Hausses. Pouces.	Effet moyen de 10 coups tirés — Par la pièce longue. Percé.	Par la pièce longue. Touché.	Par la pièce courte. Percé.	Par la pièce courte. Touché.	OBSERVATIONS.
600	438	B. en bl.	10,70	4,20	9,50	3,70	A 900 pas, la pièce courte pointée de but en blanc, donne des résultats supérieurs à ceux de la pièce longue, tandis qu'ils deviennent égaux avec 1°. de hausse, pour les balles qui ont percé le panneau, etc.
		1°.	9,40	1,50	6,90	0,90	
800	584	B. en bl.	3,50	14,80	2,80	12,20	
		1°.	4,90	9,40	3,90	10,10	
900	657	B. en bl.	0,80	7,40	1,20	2,60	
		1°.	1,50	10,50	1,50	4,20	
1000	730	1°.	0,40	5,00	0,10	4,10	

D. *TABLEAU des effets produits par des boîtes de 41 balles de 6 onces, et de 18 balles de 1 liv. dans deux pièces de 12, l'une de 22, l'autre de 18 calibres; la première avait une charge de 5, la deuxième une charge de 4 liv.*

Désignation des boîtes.	Distances. Pas.	Distances. Mètres.	Hausses. pouces.	Pièce longue. Balles qui ont atteint le but en planches. Percé.	Pièce longue. Touché.	Pièce courte. Balles qui ont atteint le but en planches. Percé.	Pièce courte. Touché.
Boîtes de 41 balles de 6 onces (moyennes de 10 coups).	800	587	0	8,00	8,60	7,90	5,70
			1	8,40	6,20	9,30	3,40
	1000	730	0	1,60	13,10	0,80	5,60
			1	1,60	9,20	2,90	10,60
			2	3,20	8,40	2,60	7,30
Boîtes de 18 balles de 1 liv. (moyennes de 10 coups).	1000	730	0	5,20	2,40	1,90	3,60
			1	5,30	2,10	2,50	2,50
			2	3,70	1,50	4,70	2,00

EXPÉRIE[…]cé *les panneaux, et de celles qui*
PRUSSIEN[…]*ombre des balles contenues dans les*

de haut.)

DÉSIGNATI[…] des BOUCHES A F[…]	[…]as […]res.	A 900 pas 657 mètres.		A 1000 pas 730 mètres.		A 1100 pas 803 mètres.	
	[…]uché.	Percé.	Touché.	Percé.	Touché.	Percé.	Touché.
Pièce de 6	»	»	»	»	»	»	»
12	»	»	»	/	»	»	»
3	»	»	»	»	»	»	»
12	»	»	»	»	»	»	»
3	1/8.7	»	»	»	»	»	»
6 lég[…]	1/4.8	1/4.8	1/7.1	1/4.10	1/5.1	»	»
6 pes[…]	1/13.7	1/8.7	1/9.7	1/5.4	1/1.1	»	»
12 lég[…]	1/9.1	1/15.6	1/8	»	»	»	»
12 pes[…]	1/7.9	1/14	1/8	1/5.4	1/4	»	»
6 lég[…]	1/8	»	»	1/16.6	1/5.8	»	»
6 pes[…]	1/10	1/8.5	1/5.4	1/16.6	1/6.3	»	»
12 lég[…]	1/11	1/7.4	1/8	1/14	1/4	»	»
12 pes[…]	1/4.8	1/9.10	1/1.7	1/11	1/4.8	»	»
12 lég[…]	1/6.7	»	»	1/5.8	1/9	1/10.6	1/9
12 pes[…]	»	»	»	1/1.4	1/10	1/7.10	6.6
[…]nes balles à 1200 pas (450 toises).						1/14.0 1/18	1/4 1/40

EXPÉRIENC[…]

DANOISES.

Pièce de 3	[…] effets obtenus dont les résultats moyens sont […]és ici, l'ont été par deux, quatre, six, et quel[…] par huit coups.
6	
3	
6	
12	
3	
6	
12	
6	
12	
12	

Mémo[…]

E' *Expériences de Strasbourg.*

Le but en planches avait { 108 pieds de long. 8 pieds de haut.

Désignation des bouches à feu.	Poids des balles.	Nombre des balles dans les boîtes.	DISTANCES.									
			A 200 toises. 390 mètres.		A 250 toises. 487 mètres.		A 300 toises. 584 mètres.		A 350 toises. 682 mètres.		A 400 toises. 780 mètres.	
			Percé.	Touché.	Percé.	Touché.	Percé.	Touché.	Percé.	Touché.	Percé.	Touché.
Pièce de 12 longue.	7 onces.	41	»	»	»	»	$\frac{1}{5.7}$	$\frac{1}{17.12}$	$\frac{1}{4.1}$	$\frac{1}{11.7}$	$\frac{1}{8.8}$	$\frac{1}{10.25}$
12 courte.	7	41	»	»	»	»	$\frac{1}{3.43}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{5.60}$	$\frac{1}{21.8}$	$\frac{1}{9.11}$	$\frac{1}{18}$
8 longue.	4 [illegible]	41	»	»	$\frac{1}{5.91}$	$\frac{1}{11.7}$	$\frac{1}{4.10}$	$\frac{1}{10.25}$	$\frac{1}{6.10}$	$\frac{1}{10.25}$	$\frac{1}{41}$	$\frac{1}{3.86}$
8 courte.	4 [illegible]	41	»	»	»	»	$\frac{1}{4.83}$	$\frac{1}{8.40}$	$\frac{1}{9.11}$	$\frac{1}{8.60}$	$\frac{1}{20.5}$	$\frac{1}{10.25}$
4 courte.	2 [illegible]	41	$\frac{1}{3.64}$	$\frac{1}{17.64}$	$\frac{1}{4.39}$	$\frac{1}{10.25}$	$\frac{1}{10.25}$	$\frac{1}{11.70}$	»	»	»	»
12 courte.	2 [illegible]	112	$\frac{1}{3.71}$	$\frac{1}{9.11}$	$\frac{1}{5.31}$	$\frac{1}{8.61}$	$\frac{1}{10.66}$	$\frac{1}{16}$	»	»	»	»
8 courte.	1 [illegible]	112	$\frac{1}{4.10}$	$\frac{1}{12.41}$	$\frac{1}{10.50}$	$\frac{1}{9.60}$	»	»	»	»	»	»
4 courte.	1 [illegible]	63	$\frac{1}{3.47}$	$\frac{1}{15.10}$	$\frac{1}{7.17}$	$\frac{1}{8.15}$	»	»	»	»	»	»
12 courte.	1 [illegible]	170	»	»	»	»	$\frac{1}{21.11}$	$\frac{1}{16.10}$	»	»	»	»
8 courte.	1 [illegible]	138	»	»	»	»	$\frac{1}{19.90}$	$\frac{1}{19.70}$	»	»	»	»
12 longue.	9 [illegible]	30	»	»	»	»	»	»	$\frac{1}{4.25}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{7.50}$	$\frac{1}{13}$
8 longue.	6 [illegible]	30	»	»	»	»	$\frac{1}{9.50}$	0	$\frac{1}{7.50}$	0	$\frac{1}{8.10}$	$\frac{1}{7.50}$
8 longue.	8	20	»	»	»	»	»	»	»	»	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{12}$
4 courte.	4 [illegible]	20	»	»	»	»	$\frac{1}{3.73}$	$\frac{1}{13.31}$	$\frac{1}{9.48}$	$\frac{1}{17}$	»	»

F. *Expériences de Strasbourg.*

Rapport du nombre des balles contenues dans les boîtes au nombre des balles qui ont atteint le panneau dans des surfaces de 50 pieds et de 108 pieds de longueur.

Calibres.	Nombre des balles dans les boîtes.	Poids des balles.	A 200 toises. 390 mètres.		A 250 toises. 487 mètres.		A 300 toises. 584 mètres.		A 350 toises. 682 mètres.		A 400 toises. 779 mètres.		A 450 toises. 877 mètres.	
		onces.	50 pi.	108 pi.	50 pi.	108 pi.	50 pi.	108 pi.	50 pi.	108 pi.	50 pi.	108 pi.	50 pi.	108 pi.
12 long.	41	7	»	»	»	»	$\frac{1}{4.70}$	$\frac{1}{2.44}$	$\frac{1}{6.67}$	$\frac{1}{1.67}$	$\frac{1}{[illegible]}$	$\frac{1}{4.79}$	»	»
12 court.	41	7	»	»	»	»	$\frac{1}{5.13}$	$\frac{1}{2.96}$	$\frac{1}{3.40}$	$\frac{1}{3.25}$	$\frac{1}{5.46}$	$\frac{1}{3.40}$	»	»
8 long.	41	$4\frac{1}{3}$	»	»	$\frac{1}{3.19}$	$\frac{1}{3.29}$	$\frac{1}{5.25}$	$\frac{1}{3.15}$	»	»	$\frac{1}{5.90}$	$\frac{1}{3.79}$	»	»
8 court.	41	$4\frac{1}{3}$	»	»	»	»	$\frac{1}{3.15}$	$\frac{1}{3.30}$	$\frac{1}{[illegible]}$	$\frac{1}{4.19}$	$\frac{1}{13.31}$	$\frac{1}{[illegible]}$	»	»
4 court.	41	$2\frac{2}{3}$	$\frac{1}{1.76}$	$\frac{1}{3.41}$	$\frac{1}{6.47}$	$\frac{1}{8.76}$	$\frac{1}{8.31}$	$\frac{1}{5.12}$	$\frac{1}{10.70}$	$\frac{1}{9.18}$	»	»	»	»
12 court.	112	2 [illegible]	$\frac{1}{1.77}$	$\frac{1}{3.77}$	$\frac{1}{5.09}$	$\frac{1}{1.29}$	$\frac{1}{7.67}$	$\frac{1}{3.67}$	»	»	»	»	»	»
8 court.	112	$1\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4.09}$	$\frac{1}{1.17}$	»	$\frac{1}{3.09}$	»	»	»	»	»	»	»	»
12 court.	170	$1\frac{1}{3}$	»	»	»	$\frac{1}{18.40}$	$\frac{1}{11.81}$	»	»	»	»	»	»	»
8 court.	138	$1\frac{1}{3}$	»	»	»	$\frac{1}{11.81}$	$\frac{1}{6.21}$	»	»	»	»	»	»	»
12 long.	30	$9\frac{1}{3}$	»	»	»	»	»	»	$\frac{1}{6.92}$	$\frac{1}{4.00}$	»	»	»	»
8 long.	30	$6\frac{2}{3}$	»	»	»	»	»	»	$\frac{1}{11.78}$	$\frac{1}{6.44}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{3.63}$	»	»
8 long.	20	8	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	$\frac{1}{9.22}$	$\frac{1}{3.43}$
4 court.	20	$4\frac{1}{2}$	»	»	»	»	$\frac{1}{7.44}$	$\frac{1}{2.18}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3.38}$	»	»	»	»

F'. Expériences Prussiennes. — *Rapport du nombre des balles contenues dans les boîtes au nombre de celles qui ont frappé le panneau dans des surfaces de 50, 100, 150, 200 pieds de longueur.*

Balles de	Distances.	12 long.				12 ordinaire long.				6 long.				6 ordinaire.			
		50 pi.	100 pi.	150 pi.	200 pi.	50 pi.	100 pi.	150 pi.	200 pi.	50 pi.	100 pi.	150 pi.	200 pi.	50 pi.	100 pi.	150 pi.	200 pi.
onces	mèt.																
1.	219	.	.	.	.	1/3.5	1/1.06	1/3.76	1/1.66	.	.	.	.	1/4.10	1/3.66	1/3.66	1/3.66
	292	.	.	.	.	1/4.33	1/1.64	1/3.40	1/1.40	.	.	.	.	1/3.70	1/4.06	1/3.57	1/3.57
	365	.	.	.	.	1/6.37	1/4.13	1/3.64	1/3.32	.	.	.	.	1/9	1/6	1/3.54	1/5
	438	.	.	.	.	1/5.96	1/5.61	1/4.66	1/4.18	.	.	.	.	[illegible]	1/7.40	1/3.36	1/3.34
	511	.	.	.	.	1/7.10	1/5.36	1/7.14	1/6.10	.	.	.	.	.	.	.	.
1½	365	.	.	.	.	[illegible]	1/13	1/3.63	1/3.61	.	.	.	.	.	.	.	.
	438	.	.	.	.	1/5.76	1/5.51	1/3.78	1/3.30	.	.	.	.	.	.	.	.
	511	.	.	.	.	1/13	1/8.20	1/6.96	1/8	.	.	.	.	.	.	.	.
	584	.	.	.	.	1/19	1/11.41	1/9.21	1/5.36	.	.	.	.	.	.	.	.
3	219	.	.	.	.	.	.	.	.	1/5.11	1/4.53	1/4.46	1/4.74	1/5.13	1/7.70	1/7.07	1/6.6
	292	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	365	.	.	.	.	.	.	.	.	1/6.40	1/4.61	1/4.13	1/4.69	1/9.13	1/3.74	1/3.13	1/3.06
	438	.	.	.	.	1/3.57	1/3.83	1/3.76	1/3.60	1/5.04	1/3.31	1/5.03	1/3.06	1/10	1/6	1/3.76	1/4.45
	511	.	.	.	.	1/6.70	1/5	1/5.23	1/3.78	1/7.30	1/4.11	1/3.50	1/3.38	1/13	1/6.11	[illegible]	1/4.48
	584	.	.	.	.	1/14.18	1/7.30	1/3.53	1/4.36	1/17.1	1/10.83	1/9.71	1/4.50	1/18	1/10	1/5.30	1/6.18
	657	.	.	.	.	.	.	.	.	1/21.31	1/9.36	1/6.61	1/3.18	1/33	1/17	1/13.1	1/9.34
	803	.	.	.	.	.	.	.	.	1/39.1	1/11.13	1/11	1/3.43	1/37	1/27	1/31.4	1/9.13

G. EXPÉRIENCES

Faites avec un obusier de 10 livres stein.

Nombre de coups.	DISTANCE du but		Charge.	Hausse.	Nombre de balles par boîte.			Nombre des balles qui ont atteint le but.			
	En mètres.	En pas.			De 3 onces.	De 6 onces.	De 1 livre.	Traversé.	Touché.	Total.	
	Mètr.	Pas.	liv.	Pouces.							
10	506	700	2 1/4	1	»	56	»	47	147	194	
10	506	700	2 1/2	2	»	56	»	56	123	179	
10	506	700	3	1	»	56	»	63	108	171	
10	584	800	2 1/2	B. en b.	»	56	»	8	49	57	
10	584	800	2 1/2	2	»	56	»	22	102	124	
10	584	800	3	B. en b.	»	56	»	28	148	176	
10	653	900	2 1/4	1	»	»	20	15	39	54	
10	653	900	2 1/2	2	»	»	20	13	34	47	
10	653	900	3	1	»	»	20	14	37	51	
10	653	900	3	2	»	»	20	29	35	64	
10	721	1000	2 1/4	2	»	»	20	9	25	34	
10	721	1000	2 1/2	3	»	»	20	6	19	25	
10	721	1000	3	2	»	»	20	17	20	37	
10	721	1000	3	3	»	»	20	23	37	60	

G' *EXPÉRIENCES faites avec des obusiers de 10 et de 7 livres stein et des boîtes de poids différens.*

Calibres.	Nombre de coups.	Élévation.	Charge.	NOMBRE et poids DES BALLES.	Distance du panneau.	Balles qui ont Traversé.	Balles qui ont Frappé.	Balles qui ont Total.	Expansion des coups.	Blanc particulier. 8 pieds de haut. 8 pieds de large. Distance de l'obusier.	Traversé.	Frappé.	Total.	Blanc particulier. 8 pieds de haut. 8 pieds de large. Distance de l'obusier.	Traversé.	Frappé.	Total.	Effet moyen d'un coup sur le grand but.
Obusier de 10 livr.	5	3 degrés. 1 pouce.	liv. 2 1/8	56 balles de 6 onces.	800	8	25	33	Tout le panneau.	Pas. 400	7	•	7	600	1	2	3	6 4/6
	5	But en bl.	2 4/5	45 idem.	800	4	[illegible]	7		400	4	1	5	600	4	3	7	1 2/3
	5	Idem.	2 1/5	120 balles de 3 onces.	400	133	80	213		•	•	•	•	200	58	1	59	42
Obusier de 7 livres	3	2 1/2 degrés. 1 1/2 pouce.	1 3/4	150 balles de 1 1/2 once.	800	•	23	23		400	7	3	10	600	2	2	4	7 3/7
	2	But en bl.	1 1/4	150 idem.	400	31	57	88		•	•	•	•	200	45	4	9	44
	3	1 1/2 degré. 1/2 pouce	1 1/4	70 balles de 3 onces.	800	•	10	10	Tout le panneau	400	4	1	5	600	1	2	3	23 6/7
	2	But en bl.	1 1/4	70 balles de 3 onces.	400	33	18	51		•	•	•	•	200	13	3	16	25

Nota. Les blancs particuliers étaient placés à droite et à gauche de la ligne de tir, aux distances indiquées sur le tableau.

n. TABLEAU *général des expériences faites avec les obusiers de 6 pouces allongés, à Strasbourg, Toulouse, La Fère, Vincennes, en 1822, et à La Fère, en 1826.*

Année.	ÉCOLES.	Poids des: Charges de poudre.	Poids des: Boîtes à balles.	Poids des: Balles.	Nombre des balles dans les boîtes.	Distance de la batterie: Au but en planches.	Distance de la batterie: Au point de chute des 1res. balles.	Distance de la batterie: A la force du coup.	Distance de la batterie: A la dernière chute.	Nombre moyen des balles qui ont atteint le panneau.	Nombre de coups tirés.	Angle de tir.	Longueur du but.	OBSERVATIONS.
						mètres.	mètres.						mèt.	
1821	Strasbourg.	2k,08	18k,8	0,215	72	68 à 97	22 à 29	»		59 à 31	10	0	66,60	
1822	La Fère.	1 ,50	16 ,13	0,215	60	97	44	»	600	45	16	0	6,60	
1822	Vincennes.	1 ,50	15 ,775	0,215	60	240	69	280	>700	23	10	0	6,60	> signifie plus grand que.
1822	Toulouse.	1 ,50	»	0,215	60	150	»	»	600	26	18	0	6,6	
1826	La Fère.	1 ,50	16 ,76	0,215	60	250	151	236	727	34,4	5	0	10	
1821	Strasbourg.	2 ,08	18 ,8	0,215	72	421	292	421	779	4,6	10	2	66,6	
1822	La Fère.	1 ,50	16 ,13	0,215	60	302	165	»	780	11 [illegible]	16	2	66,6	
1822	Vincennes.	1 ,50	15 ,775	0,215	60	200	»	»	»	11	»	2	66,6	
1822	*Id.*	1 ,50	15 ,775	0,215	60	250	»	»	»	11	»	2	66,6	
1822	*Id.*	1 ,50	15 ,775	0,215	60	285	»	»	»	10	»	2	66,6	
1822	*Id.*	1 ,50	15 ,775	0,215	60	340	204	314	>682	8	»	2	66,6	
1822	Toulouse.	1 ,50	»	0,215	60	330	184	»	730	8 [illegible]	16	2	66,6	
1826	La Fère.	1 ,50	16 ,76	0,215	60	400	330	406	880	11	5	2	10	
1821	Strasbourg	2 ,08	18 ,80	0,215	72	232	126	730	870	3,4	10	4	6,6	
1822	La Fère.	1 ,50	16 ,13	0,215	60	550	310	»	974	4	16	4	6,60	
1822	Vincennes.	1 ,50	15 ,775	0,215	60	438	369	447	780	3	7	4	6,60	
1822	Toulouse.	1 ,50	»	0,215	60	497	397	»	819	2 [illegible]	16	4	6,60	
1826	La Fère.	1 ,50	16 ,76	0,215	60	550	461	563	1032	4,90	5	4	10	
1824	Strasbourg.	2 ,08	18 ,8	0,215	72	869	584	820	»	2 [illegible]	10	6	6.60	
1822	La Fère.	1 ,50	16 ,13	0,215	60	623	446	»	944	1 [illegible]	16	6	6,60	
1822	Vincennes.	1 ,50	15 ,77	0,215	60	633	507	682	>780	1	10	6	6,60	
1822	Toulouse.	1 ,50	»	0,215	60	643	472	»	980	1	16	6	6,60	
1826	La Fère.	1 ,50	16 ,76	0,215	60	650	548	675	1102	2,80	5	6	10	

II'. *TABLEAU général des expériences faites aux écoles de..., avec les obusiers de 24.*

Année.	ÉCOLES.	Poids des — Charges de poudre.	Poids des — Boites à balles.	Poids des — Balles.	Nombre de balles dans les boites.	Distance de la batterie — Au but, en planches.	Distance de la batterie — Au point de chute des 1res. balles.	Distance de la batterie — A la force du coup.	Distance de la batterie — A la dernière chute.	Nombre moyen des balles qui ont atteint le but.	Nombre de coups tirés.	Angle de tir.	Longueur du but.	OBSERVATIONS.
						mètres.	mètres.	mètres.	mètres.			dé	mèt.	
1821	Strasbou g.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	On ne donne point les résultats obtenus avec des boites de 27 et de 13 balles de 12 ½ onc. environ ; elles ont été rejetées dès les premières épreuves.
1822	La Fère.	1k,	»	0k,1375	70	80	40	»	645	$46\frac{1}{9}$	16	0	6,60	
1822	Vincennes.	1 ,	12k,188	0 ,1375	70	260	180	250	>600	15	7	0	6,60	
1822	*Id.*	1 ,	12 ,188	0 ,1375	70	310	110	285	>650	17	3	0	6,60	
1822	Toulouse.	1 ,	»	0 ,1375	70	150	»	»	690	26	16	0	6,60	
1826	La Fère.	1 ,	13 ,	0 ,1375	70	150	»	150	708	48 30	5	0	10,	
1822	*Id.*	1 ,	»	0 ,1375	70	280	170	»	700	$17\frac{1}{9}$	16	2	6,60	
1822	Vincennes.	1 ,	12 ,188	0 ,1375	70	260	220	370	>700	13	7	2	6,60	
1822	*Id.*	1 ,	12 ,188	0 ,1375	70	400	225	380	>700	10	3	2	6,60	
1822	Toulouse.	1 ,	»	0 ,1375	70	210	82	»	420	$12\frac{1}{7}$	16	2	6,60	
1826	La Fère.	1 ,	13 ,	0 ,1375	70	300	»	331	818	11 30	5	2	10,	
1822	La Fère.	1 ,	»	0 ,1375	70	520	305	»	920	$4\frac{1}{3}$	16	4	6,60	
1822	Vincennes.	1 ,	12 ,19	0 ,1375	70	400	300	420	>700	5	10	4	6,60	
1822	Toulouse.	1 ,	»	0 ,1375	70	330	230	»	720	$1\frac{3}{4}$	16	4	6,60	
1826	La Fère.	1 ,	13 ,	0 ,1375	70	450	317	491	818	3, 7	5	4	10,	
1822	La Fère.	1 ,	»	0 ,1375	70	600	440	»	900	$2\frac{1}{4}$	16	6	6,60	
1822	Vincennes.	1 ,	12 ,188	0 ,1375	70	520	380	520	>800	2	10	6	6,60	
1822	Toulouse.	1 ,	»	0 ,1375	70	460	314	»	700	$\frac{7}{17}$	16	6	6,60	
1826	La Fère.	1 ,	13 ,	0 ,1375	70	550	375	530	941	2 10	5	6	10,	
1822	La Fère	1 ,	»	0 ,1375	70	640	590	»	900	$\frac{11}{16}$	16	8	6,60	
1822	Vincennes.	1 ,	12 ,188	0 ,1375	70	632	510	580	>900	1	10	8	6,60	
1822	Toulouse.	1 ,	»	0 ,1375	70	660	470	»	1300	$\frac{9}{16}$	16	8	6,60	
1826	La Fère.	1 ,	13 ,	0 ,1375	70	»	»	»	»	»	5	8	10,	

RÉSUMÉ SUCCINCT

DES

PRINCIPAUX TRAVAUX

EXÉCUTÉS

PENDANT LES ANNÉES 1826 ET 1827.

De courtes notices insérées dans le premier numéro du *Mémorial de l'Artillerie*, et dans l'introduction qui l'a précédé, ont fait connaître aux Officiers du corps l'ensemble des travaux entrepris, et les perfectionnemens successifs introduits dans le système du matériel, dans le mode d'instruction, et dans l'administration des établissemens de l'arme. On a indiqué en même temps le but d'utilité de cette publication. La notice ci-après, qui fait suite à celle que renferme le premier numéro du *Mémorial*, fera connaître le point où l'on est parvenu dans chacune des branches du service.

Règlemens généraux et particuliers. — Trois années d'expérience ont mis à même de recueillir sur les effets du règlement provisoire de 1823, relatif au service des arsenaux de construction, toutes les observations auxquelles il pouvait donner lieu. Remplacer par un système régulier et bien ordonné, les dispositions partielles qui

régissaient ces établissemens; coordonner la comptabilité-matières avec le nouveau mode de comptabilité-finances prescrit par l'instruction réglementaire du 10 octobre 1822; établir cette comptabilité de manière à ce que l'on puisse toujours, par l'emploi bien constaté des matières premières, connaître le nombre d'objets confectionnés qu'ont produit ces matières, et le prix de ces objets; en déduire des bases fixes et régulières pour asseoir les approvisionnemens; déterminer en même temps les fonctions et les relations de service des officiers, en sorte qu'ils ne se trouvent pas placés en dehors des différens travaux, et qu'ils en aient, chacun selon son grade et ses attributions, non-seulement la surveillance, mais encore la direction et la responsabilité; enfin régler le mode d'instruction dans les arsenaux d'une manière uniforme et en harmonie avec l'instruction générale du corps: tel était le but que l'on s'était proposé dans la rédaction du règlement provisoire du 27 février 1823. Dans les observations faites sur son exécution, les bases de ce règlement et les principes qui avaient guidé dans son établissement ne furent pas controversés; elles ne portèrent en général que sur des objets de détail; on introduisit dans le règlement toutes les modifications que l'examen approfondi de ces observations fit juger propres à l'améliorer. Elles ont principalement

pour but de diminuer les écritures, d'en faire une répartition plus égale entre les officiers et les employés, enfin de simplifier le travail de chacun, autant que le permet la tenue d'une comptabilité aussi compliquée. De l'adoption de ces modifications résulta le règlement définitif du 18 juin 1826.

La vérification générale des bouches à feu en fer, qui a succédé immédiatement à la vérification des bouches à feu en bronze, et qui a complété cette importante opération, avait donné lieu de remarquer que, dans quelques localités, les soins apportés à l'entretien de ces bouches à feu n'étaient pas dirigés de la manière la plus convenable, et que les méthodes de conservation employées n'étaient pas uniformes : une instruction réglementaire fut en conséquence rédigée pour sanctionner et généraliser les dispositions reconnues les plus utiles, et assurer ainsi le bon ordre et l'uniformité dans cette partie du service.

Artillerie de campagne. — Les expériences comparatives faites en 1824 et en 1825, avaient fait reconnaître que le nouveau système de voitures d'artillerie de campagne était préférable à l'ancien, sous les rapports de la simplicité des constructions, de la mobilité, de la célérité dans les manœuvres, de la facilité à franchir les obstacles que l'on peut rencontrer à la guerre, et de la simplification qui résulte de l'identité des

avant-trains et des roues. Le but spécial des nouvelles épreuves qui furent entreprises en 1826 dans toutes les écoles, fut de fixer l'opinion sur le mode d'attelage, objet sur lequel les diverses commissions ne s'étaient pas accordées. La suppression de la sassoire mobile, jugée indispensable pour obtenir la complète indépendance des deux trains, exigeait que le timon fût soutenu par-devant. On essaya divers modes de suspension, et deux de ces moyens ayant paru réunir les convenances du service à un degré supérieur à tous les autres, on eut encore recours à l'expérience pour s'éclairer sur le choix à faire entre eux. Une batterie complète fut organisée comme pour entrer en campagne : on y adapta ces deux modes de support de timon, ainsi qu'un autre mode d'attelage qui avait été proposé, et qui consistait dans l'emploi d'une limonière-timon ; cette batterie fut attelée par des détachemens du train tirés de diverses écoles, qui fournirent en même temps les cannoniers pour escorte, et elle fit, pendant la saison d'hiver, et par les plus mauvais chemins qu'il fut possible de rencontrer, un voyage de plus de 400 lieues. Les résultats de cette épreuve définitive, mûrement discutés, permirent de faire choix du mode de support le plus avantageux, et ce choix fut suivi de l'adoption du nouveau système d'artillerie de campagne.

Antérieurement au voyage de la batterie d'é-

preuve, on s'était occupé de compléter la formation de l'équipage de campagne, en construisant dans le même système les voitures nécessaires, tant pour transporter les approvisionnemens et les rechanges, que pour faciliter les réparations et les travaux qui doivent s'exécuter à la guerre. A cet effet on avait présenté le modèle d'une *forge de campagne*, ayant même avant-train, mêmes roues et même essieu que le caisson. L'arrière-train se compose, comme celui du caisson, de deux brancards et d'une flèche réunis par des épars; il porte un coffre fixé sur le derrière des brancards, un soufflet, un âtre établi sur le devant, et une caisse à charbon. Le coffre de derrière, et celui de l'avant-train, contiennent les outils et les ferrures de rechange.

Un *chariot*, destiné spécialement au service des batteries, a été établi dans le même système. Il a aussi même avant-train, mêmes roues, et même essieu que le caisson. Le train de derrière se compose également d'une flèche et de deux brancards, réunis par des épars. Deux ridelles sont fixées au-dessus des brancards par des ranchets en fer, contre lesquels s'appliquent les planches des côtés. Pour assurer la conservation des objets portés dans cette voiture, on y a adapté un couvercle, dont le dessus est formé de voliges et recouvert d'une toile imperméable. Indépendamment de sa destination spéciale, comme

chariot de batterie, cette voiture remplacera le caisson de parc actuel, pour le service des équipages de siége et des parcs de campagne.

Au moyen de l'assimilation presque complète de ces deux nouvelles voitures et des caissons d'artillerie de campagne, on est parvenu à la plus grande simplification qu'il fût possible d'atteindre : un avant-train commun à toutes les voitures de la batterie ; une seule espèce de roues ; même mobilité et même tournant pour toutes les voitures d'un même équipage.

Trois batteries complètes du nouveau système furent envoyées au camp de Saint-Omer ; elles prirent part, pendant deux mois, à toutes les manœuvres des troupes, dans des terrains de toute nature. Les observations que ces manœuvres mirent à même de faire, permirent d'apporter dans les constructions toutes les améliorations de détail indiquées par l'expérience. Les tables définitives furent arrêtées et adressées aux arsenaux, et servent en ce moment à la construction de batteries, qui seront mises cette année en service dans toutes les écoles.

Il ne restait plus qu'à établir un modèle de chariot pour les parcs de campagne ; afin d'étendre, autant que possible, le système de simplification adopté, on a cherché à le rendre en même temps propre au service des équipages de siége et de ponts. Le chargement que doit recevoir

cette voiture, oblige à lui donner une longueur et une largeur trop grandes pour permettre l'emploi de roues de devant égales à celles de derrière, et par conséquent celui de l'avant-train des affûts et caissons de campagne. On lui a donné la roue d'avant-train du haquet à bateau, dont la construction exige également une roue basse; la roue de derrière est celle des autres voitures de campagne. Ce *chariot de parc*, construit d'ailleurs dans le même système que le chariot à munitions de Gribeauval, a le même tournant, la même mobilité, et peut porter le même chargement.

La nécessité d'améliorer les harnais du train d'artillerie était reconnue depuis long-temps. L'adoption d'un nouveau matériel de campagne, plus mobile que l'ancien, et dont l'emploi exige un mode d'attelage différent, rendait cette mesure encore plus urgente. De premiers essais entrepris en 1826 dans cinq écoles, en même temps que les épreuves de l'artillerie de campagne nouveau modèle, et continués au camp de Saint-Omer, ont amené à établir un nouveau modèle de harnais, qui, en conservant les formes générales du collier de l'ancien modèle, en diffère principalement par l'adoption d'attèles en fer et d'autres ferrures qui en assurent la durée, sans exiger ni réparation ni renouvellement; par l'emploi du cuir noir; par la substitution des cuirs de veau

et de vache à la basane, et par celle du crin à la bourre; enfin par l'adoption des dispositions les plus convenables pour l'attelage trait sur trait. Les tables et dessins de ces nouveaux harnais sont adressés aux écoles; un certain nombre d'attelages y seront immédiatement mis en construction, et employés pour les manœuvres de batteries attelées dans les exercices de la prochaine campagne.

Artillerie de siége. — Après l'adoption du nouvel affût de siége, qui jouit de la propriété de servir en route au transport de sa pièce, on s'est immédiatement occupé de construire dans le même système les voitures nécessaires pour le transport des mortiers, de leurs affûts, des projectiles, des munitions, des bois à plates-formes, etc. On a présenté à cet effet le modèle d'une nouvelle voiture à laquelle on a donné le nom de *chariot porte-corps*, et qui est destinée à remplacer le camion pour le transport des mortiers; à suppléer l'affût au besoin, pour celui des canons; à porter les bombes et obus, et les autres fardeaux de toute espèce que l'on peut avoir à transporter dans un équipage de siége. Cette voiture a les mêmes roues et le même avant-train que l'affût de siége. Elle se compose de deux brancards intérieurs qui se réunissent à leur extrémité et font l'office de flèche, et de deux brancards extérieurs formant le corps de la voiture,

auxquels on a donné moins de longueur qu'aux premiers, pour augmenter le tournant; ces brancards sont réunis par des épars. On a établi sur le derrière du chariot un treuil, qui a pour objet de faciliter la manœuvre du chargement des mortiers.

L'affût et le chariot porte-corps suffiraient, avec le chariot de parc, pour le transport et les mouvemens d'un équipage de siége. Mais l'approvisionnement des batteries, et le passage dans les tranchées, nécessitent l'emploi d'une voiture, dont la construction particulière facilite les mouvemens dans le tournant très-court des communications d'une parallèle à une autre, et cette condition ne peut être facilement remplie que par une voiture à deux roues. Il a donc paru indispensable d'avoir pour ce service spécial une voiture particulière. L'on en a établi le modèle, analogue à la charrette à boulets du système de Gribeauval, et on y a appliqué l'essieu et les roues des voitures d'artillerie de campagne.

Les nouvelles voitures de siége ont été mises à l'essai dans toutes les écoles, et les résultats avantageux qu'elles ont présentés en ont motivé l'adoption.

Artillerie de place et de côte. — Un nouveau modèle d'affût, également propre au service des places et à celui des côtes, et dans lequel on avait cherché à remédier aux inconvéniens reconnus

des affûts de place et de côte du système Gribeauval, tout en conservant les avantages précieux qu'ils présentent, avait été mis à l'essai en 1825. Les expériences continuées en 1826 et 1827, ont indiqué plusieurs améliorations importantes qui ont été successivement introduites dans la construction de cet affût. Il va être soumis incessamment à une épreuve définitive, qui mettra à même de reconnaître s'il a atteint le degré de perfection que l'on a cherché à lui donner.

L'adoption d'un nouvel affût ne pouvant dispenser d'utiliser jusqu'à remplacement les affûts et châssis de place existans, on a cherché à faire disparaître un des inconvéniens reprochés à l'affût de place de Gribeauval, en transportant au châssis l'inclinaison de la plate-forme. Cette disposition a pour objet de mieux couvrir les canonniers, et d'augmenter l'amplitude du champ de tir. Des expériences faites dans toutes les écoles en ont constaté les avantages.

Artillerie de montagne. — On a fait connaître, dans l'introduction du *Mémorial* (1), que les données fournies par de premières expériences, et l'examen des conditions du service de

(1) Exposé des changemens introduits récemment dans le système de l'artillerie, page 42

l'artillerie de montagne, avaient conduit à proposer de ne composer cette artillerie que d'obusiers du calibre de 12. Cet obusier et son affût furent éprouvés à Douai en 1825, sous le rapport du tir et de la manœuvre. Les résultats de ces épreuves ayant été jugés satisfaisans, de nouvelles expériences très-étendues furent entreprises dans les Alpes et dans les Pyrénées, à l'effet de déterminer tout ce qui est relatif au mode de transport de cette bouche à feu, à la forme des bâts, des caisses à munitions, etc. Les propositions des commissions chargées de diriger ces expériences furent comparées : à cette occasion, on examina de nouveau la question de la préférence à donner à l'obusier sur le canon ; on discuta les motifs apportés par les partisans de chacune de ces bouches à feu, à l'appui de leur opinion; et, par suite de cette discussion, on proposa, et S. Ex. le ministre de la guerre approuva l'adoption définitive de l'obusier et de son affût, ainsi que des modèles de caisses à munitions et d'armemens qui avaient présenté les résultats les plus avantageux ; on adopta également un mode de chargement uniforme, une modèle unique d'arçon de bât, auquel s'adapteront les garnitures intérieures et les harnais que l'expérience a fait reconnaitre les meilleurs, parmi ceux qui sont employés sur chacune des frontières des Alpes, des Pyrénées orientales et des Pyrénées occidentales. Un cer-

tain nombre de ces bouches à feu, avec leurs affûts et caisses à munitions, vont être mises en construction à l'arsenal de Toulouse, et envoyées dans les directions qui se trouvent situées sur les frontières où l'on pourrait avoir occasion de faire usage de cette espèce d'artillerie.

Armes portatives. — Les recherches relatives à la détermination d'un fusil de rempart qui satisfasse complétement aux conditions du service que cette espèce d'armes doit remplir, ont été continuées, et touchent à leur terme. Par suite des premiers essais, deux modèles avaient été présentés. Douze fusils de chacun de ces modèles furent fabriqués et soumis d'abord à l'école de Vincennes, à des expériences en grand, par suite desquelles on y introduisit d'importantes modifications, dont les principales consistent dans l'emploi d'un canon carabiné et d'une platine à percussion. Les expériences furent ensuite reprises dans les écoles de Strasbourg et de Metz. Elles sont maintenant terminées, on s'occupe de leur examen, et l'on sera très-incessamment en mesure de faire à cet égard une proposition définitive (1).

La manufacture royale d'armes du Klingenthal

(1) Postérieurement à la rédaction de cette notice, le fusil de rempart a été définitivement adopté; le prochain numéro du *Mémorial* en contiendra la description, ainsi que le résumé des épreuves.

a complétement réussi dans la recherche d'une étoffe propre à la confection des cuirasses, et offrant sous le poids et à la distance fixés, une résistance complète au tir de la balle de fusil. Après de nombreuses épreuves, qui n'ont rien laissé à désirer, on a proposé l'adoption définitive des cuirasses du modèle présenté, et leur mise en fabrication avec les matières, et par les procédés employés pour la confection des plastrons d'épreuves. Des laminoirs propres à laminer les tôles à épaisseurs inégales, ont été établis au Klingenthal; une machine pour les découper y a été envoyée de l'atelier de précision (1), et cette arme défensive y est maintenant en grande fabrication. L'exécution des premières commandes qui y ont été faites a présenté ce résultat remarquable, que parmi tous les plastrons soumis à l'épreuve du tir, soit pour la réception définitive de plus de 700 de ces cuirasses, soit pour les essais de divers genres entrepris dans le bnt d'améliorer la fabrication, il n'y en eut pas un seul qui fut percé. Les observations recueillies pendant l'exécution des commandes, ont mis à même d'arrêter définitivement les procédés de fabrication, et les dispositions réglémentaires sur les épreuves et la réception des nouvelles cuirasses.

Bâtimens. — On a continué à donner suite au

(1) Voyez ci-après la description de cette machine.

principe général adopté, de rattacher les constructions et réparations de bâtimens à des plans d'ensemble réguliers, et à des modèles uniformes et appropriés à la destination des bâtimens.

Les travaux de la manufacture d'armes centrale de Châtellerault et de celle de Tulle touchent à leur terme; les bâtimens de l'école de Metz, des arsenaux de Bayonne, de Douai et de Strasbourg, s'augmentent annuellement, et ces travaux marchent de concert. Un plan d'ensemble a été adopté pour les établissemens de l'École centrale de Pyrotechnie; il sera incessamment mis à exécution.

L'insuffisance reconnue des magasins à poudre existans, pour contenir toute la poudre nécessaire à l'approvisionnement de la France, et le prix élevé auquel revient la constructiou des magasins voûtés à l'épreuve, ont donné lieu de rechercher un moyen plus économique de pourvoir à l'emmagasinement des poudres. L'examen de la question dans toute sa généralité, a amené à proposer la formation de quatre grands dépôts de poudre placés dans l'intérieur du royaume, hors de l'enceinte des villes, et à une assez grande distance des habitations, pour prévenir tout danger. Il a été établi pour ces dépôts des modèles de magasins, d'une construction plus légère et moins coûteuse que celle des magasins voûtés. On a présenté en même temps un modèle de *magasin de sûreté*, analogue à celui des magasins de dépôts, mais sous

des dimensions moindres. Ces magasins de sûreté sont destinés à être établis hors des places fortes dans lesquelles la situation de quelques magasins à poudre donne de justes inquiétudes, et à recevoir en de temps de paix les poudres de ces derniers magasins, qui seraient ainsi évacués, jusqu'au moment où les circonstances de guerre forceraient à rentrer les poudres dans la place.

Tel est l'ensemble des travaux dont la marche progressive et uniforme tend sans cesse vers le perfectionnement des diverses branches de service général de l'artillerie. Une question plus importante encore va être incessamment traitée, celle des modifications à apporter à l'organisation du personnel, pour la mettre en harmonie avec le nouveau matériel d'artillerie de campagne, et pour permettre de profiter de tous les avantages qu'il présente.

NOTE

SUR

LES ENGRENAGES,

PAR M. LEFÈBVRE,

LIEUTENANT-COLONEL D'ARTILLERIE.

Camus, dans ses Élémens de mécanique, et, d'après lui, Berthout, dans son Traité sur l'horlogerie, ont enseigné la manière de construire mathématiquement les dents des roues d'engrenages. On trouve dans le Traité élémentaire des machines de M. Hachette, l'application de la géométrie descriptive à la méthode qui a été adoptée par ces premiers auteurs. Cette méthode consiste, en dernière analyse, à supposer (*figure* 2, *planche V*), qu'une circonférence BE, tangente aux deux circonférences primitives AE, DE, en leur point commun E, reçoit, en même temps que la circonférence AE, un mouvement de rotation communiqué par la circonférence DE. Cette communication est supposée avoir lieu par l'effet du simple frottement; il en résulte que les trois circonférences se déve-

loppent réciproquement les unes sur les autres, et que tous leurs points ont des mouvemens semblables et des vitesses égales. La forme des dents doit être telle que le mouvement passe d'une roue à l'autre en remplissant les mêmes conditions. Or par l'effet du développement, un point quelconque de la circonference $B E$, E par exemple, décrit deux épicycloïdes, l'une sur le plan de la circonférence $A E$, et l'autre sur le plan de la circonférence DE; si ces courbes étaient attachées à leurs bases respectives et se poussaient mutuellement, elles reproduiraient la transmission au moyen de laquelle leur génération a eu lieu. Ces courbes conviennent donc pour former les dents des engrenages.

Nous supposons connus les détails de construction que les auteurs cités ci-dessus indiquent pour appliquer cette théorie; et nous allons examiner si elle satisfait à tous les besoins de la pratique.

Il peut arriver qu'on ait à transmettre le mouvement d'une roue à une autre, en se réservant la faculté de faire varier la distance de leurs axes; alors les données primitives étant changées, la forme des dents ne satisfait plus aux conditions exigées, et ne convient plus dans beaucoup de machines, surtout dans celles qui doivent fonctionner avec une grande précision, telles, par exemple, que les machines à tailler

les vis. On y fait varier les vitesses angulaires, en employant des pignons de diamètres différens qui engrènent avec la même roue : or, un seul de ces pignons engrène exactement ; les autres ne peuvent être tracés rigoureusement, puisque, en construisant ce premier pignon, on a arrêté la forme des dents de la roue, et que cette forme dépend de son diamètre. D'ailleurs, le seul effet du frottement suffit pour changer cette forme.

Ces inconvéniens indiquent déjà suffisamment que la forme épicycloïdale adoptée par les auteurs cités n'est pas la plus convenable ; la développante du cercle, exempte de ces défauts, est donc préférable ; cette courbe jouit encore d'autres avantages que nous ferons connaître.

La *fig.* 1, *pl. VI*, présente le cas extrême d'une touche unique ; c'est celui qui a lieu le plus souvent. Il suppose qu'au moment de l'entrée en engrenage d'une nouvelle dent, celles qui se touchaient se séparent, mais de manière que les deux touches aient lieu en même temps pendant un court instant, sans quoi il y aurait choc entre les deux dents entrantes.

Cela posé, soient C et C' (*fig.* 1, *pl. V*), les centres des rouages ; si la ligne CC' est divisée en deux parties CA et $C'A$ proportionnelles aux vitesses angulaires qui doivent avoir lieu autour de C et C' ; la circonférence CA et la circonférence

$C'A$ seront ce qu'on appelle les circonférences *primitives*. Si par A on tire une ligne quelconque HAI, les circonférences CH et $C'I$, toutes deux tangentes à cette ligne, donnent, par leur développement, des courbes qui satisfont à la question. Les bras de levier de la puissance et de la résistance deviennent $C'I$ et CH ; on sait qu'il est avantageux qu'ils soient les plus grands possible ; cette considération va nous guider dans le choix à faire entre toutes les positions que peut prendre la ligne HAI, et nous serons conduits en même temps à terminer nos dents par la partie des développantes la plus rapprochée du point de départ de la tangente génératrice ; c'est là que deux développantes symétriques convergent le moins et forment les dents les plus solides. Il faut donc, en général, choisir pour HAI, la position la plus rapprochée possible de la perpendiculaire à CC'. Quand les rouages sont de rayons différens, AH et AI sont inégales. Nous savons que la touche suit constamment la tangente ; déterminons donc sa position, de manière que la plus petite partie AH n'ait précisément que la longueur qui correspond à l'angle, tel que ACH, que doit décrire le rouage pendant que la touche le pousse de A en H : or, cet angle est connu, puisqu'on s'est donné le nombre des dents de rouages et celui des touches simultanées ; la position de CH est donc connue, il suffit d'abaisser

la perpendiculaire AH sur cette ligne; la circonférence CH développée fournira les courbes des dents du pignon, et si CI est abaissée perpendiculairement sur AH prolongée, la circonférence $C'I$ sera la base des développantes qui doivent terminer les dents de la roue. On doit tenir l'angle ACH un peu plus grand que celui qui serait strictement nécessaire, afin qu'un petit écartement des centres n'empêche pas les touches extrêmes d'être simultanées. H étant le dernier point de touche, la circonférence $C'H$ sera la limite de longueur des dents du pignon; si l'on fait $AH' = AH$ pour que le chemin parcouru avant la ligne CC' soit égal à celui qui est parcouru après, la circonférence CH' sera la limite de la longueur des dents du pignon.

La touche intermédiaire devant être en A, on mène par ce point les deux développantes AL, AL'; leurs pieds L et L' sont les points d'où l'on commence à porter les divisions des dents sur les circonférences CL et CL'; les développantes menées par les divisions N et N' se touchent au point X' de la tangente, et celles menées par les divisions N''', N'' se touchent au point X de la même ligne; ces courbes vont ensuite se terminer aux limites des longueurs des dents déjà déterminées; ces limites donnent naturellement celles de la circonférence de l'intervalle entre les dents;

on a soin de laisser un jeu suffisant. Si on achève de diviser les roues, et qu'on fasse passer des développantes par tous les points de division, il ne restera plus qu'à déterminer la partie de la division qui doit former le plein de la dent et la forme du côté opposé à celui qui touche. On peut le terminer par une surface quelconque, si l'engrenage doit toujours tourner dans le même sens. Il arrive quelquefois qu'on est forcé de le terminer par le prolongement du rayon ; c'est quand les dents ont trop de courbure pour laisser aux dents de l'épaisseur à leur extrémité : cela n'arrive que dans le cas où les diamètres sont dans un grand rapport. On donne généralement aux dents une forme symétrique. Pour cela il suffit de mener une tangente $N I'$ placée symétriquement par rapport à la tangente $I H$; de faire $L P$ égal à la moitié de la division $L N'''$ et $N'' P'$ égal à la moitié de la division $N'' L'$; et de mener les développantes $P R$ et $P' S$ engendrées par la tangente $N I'$; elles couperont cette tangente aux points Q et Q'. On partage en deux parties égales la portion de la tangente comprise entre ces deux points, et par le milieu on mène deux nouvelles développantes qui terminent les dents en leur donnant plus d'épaisseur ; on peut donc avoir des dents d'égale épaisseur dans la roue et dans le pignon, et en même temps plus de plein que de vide ; c'est

ce qui n'est pas possible avec les épicycloïdes ordinaires ; notre méthode fournit donc des dents plus solides.

Si l'on veut tracer les dents d'un pignon d'un diamètre différent de CA, et devant aussi engrener avec la roue C', la position de la tangente sera déterminée par l'angle IAC', qui devient invariable. Si le nouveau pignon est plus grand que CA, on prendra sur la tangente une longueur égale à AX'; s'il est plus petit, on perdra nécessairement un peu de touche, et il y aura un instant où l'effort sera supporté par une seule dent. Connaissant la série des pignons qui doivent engrener avec la même roue, il faudra, pour avoir toujours les mêmes touches, faire l'épure de la roue pour le plus petit. Cette construction paraît si simple, que des explications plus détaillées seraient superflues.

Tous les rouages employés dans les nouvelles poudreries du Bouchet et d'Angoulême ont été tracés d'après cette construction; elle avait été aussi employée à Essone, pour les engrenages du laminoir.

Pour décrire les développantes, on a découpé une planchette suivant un arc de la circonférence à développer. Posée convenablement sur l'épure, on fait enrouler sur cet arc un fil inextensible, au bout duquel est attaché un crayon ; pendant que l'on enroule ou déroule le fil, la pointe

de ce crayon trace la développante qu'il s'agissait de décrire; c'est le moyen le plus exact possible. (Diderot a proposé un instrument propre à décrire les développantes. Voir le volume de ses œuvres qui traite de l'application de ces courbes à la solution de divers problèmes de géométrie.)

Il n'est peut-être pas inutile d'indiquer une méthode simple de déterminer une développante avec la règle et le compas. (*Fig.* 4, *pl. V*). *A* est le point par lequel doit passer une développante dont arc $a9$ est la base; on mène la tangente *ACB*, on mesure exactement la longueur *AC*, on fait la proportion cir. $CO : AC :: 360 : x$; le quatrième terme donne l'angle *a OC*, qui correspond à un arc *aC* de même longueur que *AC*. On divise *AC* et *a C* en un même nombre de parties égales; on porte ces divisions sur l'arc et sur la tangente au delà de *C*, et ensuite des points 1, 2, 3, 4, 5, etc. comme centres, et avec les rayons *a* 1, *a* 2, *a* 3, *a* 4, *a* 5, etc., on décrit une suite de petits arcs dont les parties comprises entre leurs intersections déterminent la courbe. Chacun de ces petits arcs appartient à un cercle osculateur de la développante. Les praticiens se dispensent de calculer la longueur de arc *a C*; ils partagent la tangente en divisions assez petites pour qu'étant portées sur arc *a C*, on puisse, sans une trop grande erreur,

regarder comme nulle la courbure des arcs $a\,1$, $a\,2$, etc.

En horlogerie, les dents n'entrent en engrenage que dans la ligne des centres, afin d'avoir un frottement plus doux (Camus, *Traité de mécanique*). Cette condition est facile à remplir par notre méthode ; il suffit de limiter la longueur des dents du pignon (*fig.* 1) à la circonférence CA, et diminuer de AT le creux des dents de la roue.

Beaucoup de praticiens regardent comme superflu de déterminer géométriquement la courbure des dents ; ils se contentent de les faire presque droites, et le frottement leur donne bientôt la forme qu'elles doivent avoir. Mais la construction géométrique ne donne pas seulement cette courbure à laquelle ils attachent peu d'importance, elle fait connaître en même temps la hauteur et l'épaisseur des dents, dimensions qu'il est important de déterminer exactement. D'ailleurs, le défaut d'homogénéité des matériaux ne permet pas à toutes les dents de s'user également ; l'engrenage ne va bien ni en commençant ni après quelque temps de service. La forme géométrique, en donnant le minimum de pression, remédie à ces inconvéniens ; elle devient indispensablement nécessaire lorsque les dents ont de grandes dimensions.

C'est en praticien que nous nous sommes

occupé de la meilleure forme à donner aux dents des engrenages ; on peut s'en apercevoir à nos descriptions : elles ne referment pas d'autres notions que celles qui sont familières aux chefs d'ateliers : l'usage de connaissances plus transcendantes serait moins utile, et difficile pour nous ; c'est par ces raisons que nous n'entreprendrons pas d'appliquer la géométrie descriptive au cas des roues coniques : il en résulterait une épure très-compliquée qui n'aurait que le mérite de la difficulté vaincue, et servirait à peu de chose dans la pratique. Pour s'en convaincre, il suffit de jetter les yeux sur l'épure des engrenages sphériques. (Hachette, traité des Machines.)

Ayant des roues coniques à construire, on les tracera sur une sphère d'un diamètre médiocre et exactement déterminé ; on se servira avec avantage d'une équerre sphérique du même diamètre. Pour tracer des arcs de grands cercles tangens à des circonférences, etc., les développantes sphériques seront décrites avec le compas par la méthode déjà indiquée ; on peut même les décrire aussi avec un fil, car s'il est constamment tendu sur une surface sphérique lisse, il sera toujours dans le plan d'un grand cercle. Connaissant le tracé des dents sur cette sphère, on en rapportera toutes les dimensions au rayon qu'on veut avoir, au moyen d'une échelle de lignes pro-

portionnelles ; on aura ainsi le tracé extérieur : on achèvera la dent en menant par les points de ce tracé des lignes au point du centre, ce qui formera un cône dont on prendra une portion égale à la longueur que l'on veut donner à la dent.

Pour faire l'épure d'un engrenage, il faut connaître, 1°. le rapport des vitesses angulaires des deux roues ; 2°. la distance des centres ; 3°. l'épaisseur qu'il est nécessaire de donner aux dents pour qu'elles résistent à l'effort qu'elles auront à supporter. La première donnée résulte des combinaisons de la machine, dont les rouages font partie. La seconde dépend des localités ; elle est souvent à la disposition du mécanicien : il doit alors donner à ses rouages des rayons aussi grands que possible, surtout si l'effort à transmettre est considérable ; car la pression des dents entre elles diminuant dans le rapport de l'augmentation des rayons, on peut diminuer leur épaisseur et augmenter leur nombre, ce qui assure une succession non interrompue de touches. Les dents s'useront moins vite ; une plus grande durée compensera une dépense d'argent plus forte, et fera éviter des chômages. L'inégalité de dureté des matières dont les dents seront formées aura moins d'influence, elles conserveront plus exactement leur forme, et le mouvement sa régularité. Enfin, une moindre portion de la puissance sera

perdue à faire effort contre les tourillons, les coussinets dureront plus long-temps; les axes seront moins sujets à perdre leur parallélisme, et cette perte amène promptement la mise hors de service des rouages, surtout lorsque les dents ont une grande largeur, comme dans le cas où l'on veut appliquer un grand effort à un engrenage garni de petites dents. M. Hachette indique ce moyen pour diminuer l'inconvénient de l'inégalité de pression aux points de touche, qui résulte de l'emploi des épicycloïdes.

Ces premières données servent à fixer le nombre de touches simultanées que l'on veut avoir; ce nombre est plus grand avec les rouages des grands rayons, et garnis de beaucoup de dents, et plus petit dans le cas opposé. En général, on doit se contenter d'avoir deux dents constamment en contact; cela suppose que trois dents se touchent à la fois au moment où deux dents nouvelles entrent en engrenage, et où deux de celles déjà engrénées se séparent. Un plus grand nombre de touches exige des dents longues, pointues, et par cela même dénuées de solidité. La *fig.* 1, *pl. V*, et la *fig.* 2, *pl. VI*, présentent le même nombre de touches, avec la seule différence que dans la *fig.* 1, *Pl. V*, les dents extrêmes restent en contact un court instant après l'entrée d'une nouvelle dent en engrenage; on voit quelle influence cette circonstance exerce sur la forme des dents,

et ce qui arriverait si ces touches extrêmes continuaient plus long-temps d'avoir lieu en même temps.

En effet, les bras du levier de la puissance et de la résistance, qui pendant toute la durée de la touche sont dans le même rapport, changent de longueurs ; ils sont égaux aux rayons des circonférences primitives au point *E*, et diminuent en s'éloignant à droite ou à gauche de ce point : or la pression des dents entre elles suit les mêmes variations, par suite le frottement, et la quantité dont elles s'usent pendant qu'elles sont en contact ; leur forme change donc continuellement jusqu'à l'instant où elles arrivent à celle qui permet l'égalité de pression ; c'est cette nouvelle forme qu'elles auraient dû recevoir d'abord, car on sent que la condition qu'elle remplit entraîne toutes les autres. Il faudrait donc que la ligne *FG*, *Pl. V*, *fig.* 2, eût une position fixe, et que le point de touche, au lieu de parcourir l'inflexion *FeeG*, fût assujetti à rester sur la droite *FG*. On arrive à ce résultat en suivant la méthode même des auteurs ; en effet, que l'on substitue à leurs circonférences primitives les circonférences *AG*, *DF* ; que l'on suppose que la circonférence *DF* transmette, par le frottement, son mouvement à la tangente *FG*, cette tangente le communiquera de la même manière à la circonférence *AG* : les circonstances sont les mêmes,

excepté qu'au lieu de circonférences auxiliaires, dont les rayons varient avec ceux des roues à faire engrener, nous en adoptons une autre qui aura constamment un rayon égal à l'infini. Un point de cette tangente décrira également sur le plan de chaque circonférence une épicycloïde, et ces courbes, qui alors sont des développantes des cir. *AG*, *DF*, remplissent toutes les conditions de la question ; car il est aisé de voir qu'aucune des circonstances qui s'accordaient mal avec la première forme, n'ont d'influence sur les développantes des arcs *AG*, *DF*.

Ce moyen de communication par une tangente a encore l'avantage de n'être pas seulement théorique, on l'emploie dans la pratique en se servant de poulies et de courroies. En adoptant les développantes pour former les dents des engrenages, on ne fait donc qu'imiter une communication usitée et reconnue parfaite.

On trouve la meilleure forme à donner aux dents des roues d'angle par les mêmes considérations et les mêmes applications du mouvement transmis par le simple frottement. En effet, étant donné l'angle que doivent faire les axes, si l'on imagine autour de chacun d'eux une surface conique dont le sommet soit celui de l'angle, et la base tracée sur une sphère ayant pour centre ce même sommet, ces deux cônes, dans la figure plane (*fig.* 3, *pl. V*), seront représentés par les triangles iso-

cônes AOB, COD; les bases AB, CD représentent celles des cônes, et sont supposées être dans le rapport des vitesses angulaires qu'il s'agit d'obtenir.

La communication de mouvement peut être établie entre ces deux cônes par l'effet d'un grand cercle de la sphère dont le plan leur serait tangent en même temps, car le cône OF ne peut entraîner le grand cercle par le frottement, sans que le grand cercle n'entraîne de la même manière le cône OE; toutes les circonférences, suivant lesquelles le développement des surfaces aura lieu, seront animées de mouvemens semblables; ces circonférences seront constamment sur une même surface sphérique, ayant son centre en O. Sur la sphère OB, par exemple, on aura les deux circonférences AB, CD, qui seront touchées à la fois par une circonférence de grand cercle; la circonférence DC communiquant son mouvement à celle du grand cercle, celle-ci le transmettra identiquement à la circonférence AB; ces transmissions se feront exactement, moyennant que les circonférences se développeront exactement les unes sur les autres. On peut donc appliquer à ce cas la même considération que dans celui qui précède, et dire que pendant le développement, un point de l'arc du grand cercle compris entre cir. AB et cir. CD décrira sur la surface de la sphère deux courbes à double

courbure, qu'on peut appeler développantes sphériques; ces courbes, considérées comme des dents sans épaisseur, seront propres à transmettre le mouvement de cir. *CD* à cir. *AB*; et par conséquent aux arcs eux-mêmes. Pour donner de l'épaisseur à ces dents, il suffit d'imaginer qu'un rayon de la sphère parcourt leur courbure, et prendre la longueur que l'on voudra de la surface conique engendrée. On sait en effet que le développement des surfaces a lieu en même temps que celui de leurs traces sur la sphère, et que ces surfaces coniques sont engendrées pendant la transmission hypothétique du mouvement; elles conviennent donc à sa reproduction par l'effet de la pression normale. . . .

Je ferai remarquer que dans l'engrenage conique, la pression des dents les unes contre les autres est constante pendant la durée de la touche, seulement pour les développantes situées sur la même sphère, mais qu'elle augmente en même temps que les rayons des sphères diminuent, car les points de contact se rapprochant des axes, les rapports entre les bras du levier de la puissance et de la résistance sont constans; mais les termes de ces rapports varient en passant d'une distance des centres des sphères à une autre. Cette circonstance ne tend nullement à déformer les dents; leurs élémens s'useront successivement à la vérité, mais conserveront leur forme primi-

tive; la force de la pression, représentant le frottement sur toute la surface, sera une moyenne entre toutes les pressions comprises entre les surfaces sphériques qui terminent les rouages à l'extérieur ou à l'intérieur.

DESCRIPTION

DES

INVENTIONS RELATIVES AUX ARMES

EXISTANT AU DÉPÔT CENTRAL DE L'ARTILLERIE.

Suite des armes portatives qui se chargent par la culasse.
(Voyez nº. Iᵉʳ. du *Mémorial*, page 205.)

Mécanisme dans lequel le tonnerre se sépare du canon et découvre sa tranche intérieure.

Les mécanismes qui appartiennent à ce groupe sont ceux qui paraissent les plus avantageux. Par la manière dont la charge se place dans le tonnerre, on n'a pas à craindre, comme dans les deux premiers groupes, des accidens dangereux ou des inégalités notables dans la quantité de poudre. La charge préparée sous la forme de cartouche, s'introduit dans le tonnerre comme dans un canon ordinaire. On ouvre ou l'on déchire la cartouche; on verse la poudre, on met la balle avec le papier par-dessus et on l'enfonce autant qu'il est nécessaire, sans avoir besoin de se servir d'aucun instrument particulier. Lorsque par l'effet de l'encrassement la balle ne s'enfonce

pas assez et empêche de fermer le canon, on retire une portion du papier.

Les inconvéniens qui restent communs à ces armes, comme à celles qui ont été précédemment décrites, sont l'encrassement qui arrête le mouvement des parties mobiles, la difficulté de leur donner une solidité suffisante, les dégradations produites par les gaz qui s'échappent au moment de l'explosion.

Ces inconvéniens, inséparables du chargement par la culasse, ne peuvent être qu'atténués par des dispositions plus ou moins heureuses.

Les dispositions essayées dans ce but présentent trop de variété pour qu'on puisse les soumettre à quelque observation générale. La description suivante fera facilement reconnaître celles qui en approchent le plus.

Nota. Les lignes ponctuées à points ronds .... indiquent les parties qui ne sont pas apparentes, ou la place qui doit être occupée par des parties qu'on suppose enlevées pour mieux faire voir le mécanisme.

Les lignes ponctuées, formées de petits traits et de points ronds ..—..—..— indiquent les positions que prennent les parties mobiles du mécanisme pendant la manœuvre de la charge.

Planche VII, figure 1re.

Le canon et le tonnerre sont réunis par une

vis conique. Le tonnerre qui porte la vis, peut tourner sur le bouton de culasse : un demi-tour suffit pour dégager les filets de cette vis. Alors on éloigne le canon en le faisant glisser sur le fût, et l'ouverture du tonnerre se trouve découverte pour recevoir la charge. Le canon étant rapproché, un demi-tour du tonnerre, fait en sens contraire, fait rentrer la vis dans son écrou et rétablit la jonction des deux parties. Une poignée adaptée au tonnerre donne le moyen de lui faire faire ces mouvemens; lorsque le canon est fermé, elle se trouve placée en dessous.

A. Le fusil ouvert vu par-dessus.

B. Projection de la poignée sur un plan perpendiculaire à l'axe.

ab. Le canon.

c. Tenon directeur du canon.

cd. Coulisse dans laquelle le canon directeur est retenu.

f, *g*. Boucles fixées au bois et dans lesquelles glisse le canon.

hi. Le tonnerre.

i. Le bouton de culasse sur lequel tourne le tonnerre.

k. Arrêtoir qui sert à limiter le mouvement du tonnerre.

mn. La poignée au moyen de laquelle on met le tonnerre en mouvement.

Figure 2e.

Ce fusil diffère du précédent en ce que c'est le canon qui porte la vis conique, et qui fait le mouvement nécessaire pour la dégager de son écrou; le tonnerre sur lequel l'écrou est formé reste fixe.

A. Le fusil ouvert vu du côté opposé à la platine.

ab. Le canon.

c. Tenon directeur du canon.

cd. Coulisse dans laquelle le tenon directeur est retenu.

fg. Boucle sous laquelle glisse le canon.

mn. Poignée au moyen de laquelle on lui fait faire le mouvement nécessaire pour dégager la vis et pour l'éloigner du tonnerre.

hi. Le tonnerre.

Les deux fusils qui viennent d'être décrits, sont connus sous le nom de *fusils de Vincennes*, ou *fusils à béquille*. Un nombre assez considérable de ces fusils fut construit il y a environ cinquante ans dans le château de Vincennes, où les ateliers nécessaires avaient été établis. L'expérience y fit bientôt reconnaître des inconvéniens qui les firent abandonner. Après quelques coups tirés, la crasse remplissait les filets de la vis, qui ne pouvait plus rentrer dans son écrou; la jonction du tonnerre et du canon était mal assurée; la manœuvre était fatigante et peu sûre.

Figure 3e.

Les deux parties du canon sont réunies par une vis que porte le tonnerre, et qui a son écrou sur la partie antérieure. La vis et l'écrou sont partagés en huit portions égales par des plans passant par l'axe. Les filets sont alternativement enlevés dans une portion et conservés dans la suivante. Lorsque le canon est fermé, les fractions de vis conservées sont reçues dans les parties correspondantes de l'écrou. Au moyen d'une poignée adaptée au canon, on lui fait faire un mouvement qui amène les parties évidées de l'écrou devant les parties conservées de la vis. La réunion du tonnerre et du canon cesse alors d'être maintenue. On éloigne celui-ci de la quantité nécessaire pour découvrir entièrement la vis, en le faisant glisser sous les boucles qui servent à le fixer sur le bois. Pour mettre la charge, on relève le tonnerre qui tourne sur une charnière. Le canon se referme par des mouvemens contraires. La poignée se reploie à côté du canon.

A. Le fusil vu du côté de la platine, le canon ouvert et le tonnerre redressé prêt à recevoir la charge.

B. Le fusil vu par-dessus, le canon fermé, la poignée reployé.

C. Le tonnerre séparé de l'arme et vu par-dessous.

D. Projection du tonnerre sur un plan perpendiculaire à l'axe.

E. Projection de la partie antérieure du canon sur un plan perpendiculaire à l'axe.

ab. Le canon.

c,c. Portions enlevées des filets de l'écrou.

d. Tenon directeur du canon.

ef. La poignée susceptible de se reployer à côté du canon en tournant autour de la charnière *e*.

hg. Ressort fixé sur la poignée en *h* et servant à la maintenir dans ses deux positions.

k. Bouton fixé sur le bois, entrant dans un évidement pratiqué en *f* sur la poignée lorsque celle-ci est reployée, et empêchant alors tout mouvement de la partie antérieure du canon.

i. Boucle fixée au bois et sous laquelle glisse la partie antérieure du canon.

mn. Le tonnerre.

m. Le pivot sur lequel le tonnerre tourne pour se redresser.

n. Anneau au moyen duquel on fait mouvoir le tonnerre.

o. Emplacement d'un tenon appartenant à la pièce de culasse, et qui est traversé par le pivot.

p,p. Portions enlevées des filets de la vis.

rstv. Pièce de culasse.

dtv. Coulisse pour le tenon directeur; il par-

court la partie $d\ t$ par un mouvement circulaire, et la partie $t\ v$, par un mouvement rectiligne.

Cette disposition proposée il y a quelques années, est sans doute plus ingénieuse que les deux précédentes; mais elle présente à peu près les mêmes inconvéniens avec une fabrication beaucoup plus difficile.

Figure 4e.

Le tonnerre et le canon sont réunis par un prolongement cylindrique du premier, introduit dans un évidement semblable pratiqué sur le second. Le canon reste fixe et le tonnerre s'en éloigne, entraîné par le mouvement d'une vis multiple, dont l'axe est parallèle à celui du canon, et dont l'écrou est logé dans la partie antérieure de la poignée. Celle-ci est coupée à peu près dans son milieu. La partie postérieure porte la tige de la vis. La réunion des deux parties est maintenue par un ressort qui introduit un tenon dans un trou pratiqué pour le recevoir. Pour ouvrir le canon, on presse sur ce ressort; et après avoir dégagé le tenon, on fait faire un demi-tour à la crosse. Ce mouvement fait marcher la vis d'une quantité suffisante, pour séparer le tonnerre du canon et pour lui permettre de se relever, afin de recevoir la charge.

A. Le fusil ouvert vu du côté de la platine.

Planche VIII, figure 1re.

Le tonnerre est terminé par un prolongement conique qui s'emboîte dans le canon. Le bois lui-même est coupé en avant de la platine. Ainsi, l'arme est composée de deux parties qui ne sont attachées ensemble que par une charnière brisée, placée sous le bois. La réunion des deux parties, lorsque l'arme est fermée, est maintenue par deux joues que porte le canon, et qui reçoivent dans des encastremens, deux épaulemens réservés sur le tonnerre. Ces joues sont fixées sur le canon par deux tourillons sur lesquels elles tournent, et par une bride qui les réunit. Chacune d'elles est pressée par un ressort, aussi fixé sur le canon. Pour ouvrir le canon, il suffit d'ouvrir et de refermer le bassinet ou simplement de le refermer, si l'on vient de tirer. Le talon de la batterie rencontre un ressort qui est attaché sur la joue droite. Il glisse sur ce ressort lorsqu'on ouvre le bassinet, il l'accroche lorsqu'on ferme le bassinet; et en l'entraînant, il soulève les deux joues. Aussitôt que les encastremens ont dégagé les épaulemens, la partie postérieure de l'arme s'abat d'elle-même en tournant sur la charnière, et le tonnerre se découvre pour recevoir la charge. Après avoir chargé, on relève la crosse, les joues glissent sur la face

antérieure et arrondie des épaulemens, et la pression des ressorts les ramène dans leur position première.

A. Le fusil fermé vu du côté de la platine.

B. Le fusil fermé vu par-dessus.

ab. Le canon.

bc. Le tonnerre.

de, *de*. Les deux joues.

e, *e*. Les tourillons réservés sur le canon et sur lesquels les joues tournent.

ff. La bride qui réunit les deux joues.

g, *g*. Les ressorts fixés au canon, et qui pressent sur les joues.

h. Épaulemens réservés sur le tonnerre et encastremens creusés dans l'épaisseur des joues.

k. Le ressort fixé sur la joue droite, lequel soulève les deux joues, étant entraîné par le talon de la batterie lorsqu'on ferme le bassinet.

m. La charnière brisée.

n. Petit ressort destiné à amortir la secousse occasionée par l'abaissement subit de la crosse.

On voit que le canon est chargé d'un appareil compliqué, composé de pièces très-petites, qui manquent de solidité et qui augmentent sensiblement le poids de l'arme. De plus, la manœuvre est rendue très-fatigante par le mouvement de la crosse, qui s'abat brusquement et avec une secousse assez forte, toutes les fois qu'on ouvre le bassinet.

Figure 2e.

Fusil dont l'invention est attribuée au prince de Ligne.

Le canon est brasé dans une étendue de 10 cent. environ, sur une boite en fer, qui laisse sa partie supérieure découverte. Cette boite contient aussi le tonnerre, et se termine par un prolongement semblable à une queue de culasse. Le tonnerre, mobile sur une charnière, se relève pour recevoir la charge et se réunit au canon par une simple juxta-position. Il porte un levier brisé et tournant sur un pivot : ce levier fournit le moyen de relever le tonnerre, et maintient sa réunion avec le canon, lorsqu'il est remis en place.

A. Le canon vu du côté de la platine, le tonnerre relevé.

B. Le canon fermé vu par-dessus.

ab. Le canon.

cd. Le tonnerre; *c* charnière sur laquelle il tourne pour se relever; *d* pivot du levier mobile.

efghk. La boite sur laquelle est brasé le canon, et qui contient le tonnerre; sur le côté droit en *f* se trouve un appendice en forme de crochet, et sur le côté gauche en *g*, un autre appendice percé d'une ouverture.

mnp. Le levier brisé. Lorsque le canon est fermé, l'extrémité *p* est reçue dans l'ouverture *g* et la partie *n* sous le crochet *f*. Lorsqu'on veut

ouvrir le canon, il prend la position indiquée par les lignes ponctuées. Ce levier reprenant une direction perpendiculaire à l'axe, lorsque la main l'abandonne, on n'en voit que l'extrémité *m* dans la projection *A*.

mq. Ressort fixé en *m*, et qui maintient le levier reployé ou étendu.

hr. Ressort qui presse la partie *n* du levier sous le crochet *f*, lorsque le canon est fermé.

st. Ressort qui soutient le tonnerre relevé pendant qu'on y met la charge. Un léger effort suffit pour le faire céder lorsqu'on veut remettre le tonnerre en place.

v. Arrêtoir formé sur le tonnerre et limitant le mouvement du levier.

La crasse accumulée après un certain nombre de coups, et la dilatation du métal produite par la chaleur, ne peuvent manquer d'opposer beaucoup d'obstacles à la réunion du tonnerre et du canon, ou bien il reste du jeu entre les deux tranches juxta-posées, et les fluides développés au moment de l'explosion trouvent une issue pour s'échapper en grande abondance.

Figure 3.

Le tonnerre et le canon, portant chacun une virole à leur partie inférieure, sont réunis par un boulon parallèle à l'axe, qui traverse ces deux viroles ; la tranche du tonnerre et celle

du canon sont simplement juxta-posées; mais un renflément conservé dans cette partie augmente la surface du contact, et la recouvre à l'extérieur. L'arme étant disposée comme pour tirer, est maintenue dans cet état par un levier que porte le tonnerre et dont l'extrémité antérieure s'introduit dans une entaille creusée sur le canon. Pour charger, on fait sortir le levier de cette entaille, en appuyant sur son extrémité postérieure, on fait tourner le canon sur le boulon. Il vient se placer au-dessous de sa première position, et il découvre l'ouverture du tonnerre. L'extrémité du levier porte un crochet qui s'enfonce dans l'épaisseur du bois, rencontre la détente et ne lui permet de jouer que lorsque l'extrémité antérieure est rentrée dans l'entaille du canon. Cette disposition a pour objet de prévenir les accidens qui pourraient arriver, si, faute d'attention, on voulait tirer avant que le canon fût remis en place, et que sa réunion avec le tonnerre fût bien assurée.

A. Le canon ouvert vu du côté de la platine.

B. Le canon fermé vu par-dessus.

C. Projections du canon ouvert sur un plan perpendiculaire à l'axe.

D. Détails du boulon.

a. Le boulon qui réunit le tonnerre et le canon, et autour duquel celui-ci peut tourner.

b. La virole du canon.

c. La virole du tonnerre.

de, *de*. Tranches du tonnerre et du canon, qui sont juxta-posées lorsque le canon est fermé.

d, *d*. Entailles qui reçoivent la tête du levier.

fg, *fg*. Renflement qui recouvre la jonction du tonnerre et du canon. Ces parties sont légèrement évidées, afin que la crasse formée par le tir puisse se ramasser dans l'espace vide qu'elles laissent, et que la manœuvre soit arrêtée moins promptement.

lik. Le levier; il tourne sur le pivot *i*. La tête *k* s'introduit dans les entailles *d* lorsque le canon est fermé. Le crochet *l* rencontre la détente et l'empêche de jouer tant que la tête n'est pas rentrée dans ces entailles.

m. Ressort qui tend à faire rentrer la tête du levier dans les entailles.

n. Autre ressort qui vient se placer sous le levier, et le maintient soulevé pendant que le canon est ouvert.

p. Appendice formé sur le renflement du canon pour repousser le ressort *n*, et permettre au levier de rentrer dans les entailles, lorsqu'on referme le canon. L'extrémité du ressort *n* se loge alors dans une petite entaille pratiquée sous le levier.

q. Tenon pour empêcher le boulon de tourner.

r. Écrou.

s. Petite vis pour empêcher l'écrou de se desserrer.

Cette diposition ingénieuse a été proposée pour le mousqueton de cavalerie. La difficulté de la fabrication paraît être le seul inconvénient qui puisse lui être particulièrement reproché.

Planche IX, figure 1re.

Projet proposé pour fusil de rempart.

Le canon s'ouvre au quart environ de sa longueur à partir de la tranche du derrière. La partie postérieure a un prolongement conique qui s'introduit dans un évidement de même forme, pratiqué sur la partie antérieure ; les deux parties sont réunies par un appareil qui dépend du support de l'arme. Cet appareil se compose principalement de deux capucines qui enveloppent, l'une la partie antérieure, l'autre la partie postérieure du canon auprès de l'ouverture, et d'une bague qui recouvre cette ouverture. Les deux capucines sont rattachées au support de l'arme par deux branches coudées qui peuvent tourner sur un pivot commun. La bague porte deux tringles latérales qui glissent dans des coulisses pratiquées sur les capucines. Pour ouvrir le canon, on pousse ces tringles, de manière à les faire sortir des coulisses de la capucine postérieure ; en même temps la bague qu'elles entraînent démasque l'ouverture du canon, et la partie postérieure s'abat d'elle-même avec la crosse, et découvre l'ouverture par

laquelle on introduit la charge. La longueur de cette partie oblige à se servir pour placer la charge d'une petite baguette, qui peut être logée sur le côté de la crosse. On referme le canon en relevant la crosse, et en faisant rentrer les tringles dans les coulisses de la capucine postérieure. La partie antérieure porte un arc de cercle qui traverse le support, l'empêche de s'abattre comme la partie postérieure, lorsque le canon est ouvert, et sert pour donner les différens degrés d'inclinaison.

A. Le canon fermé vu du côté de la platine.

ab. La partie antérieure du canon.

ac. La partie postérieure; elle prend la position indiquée par les lignes ponctuées, lorsque le canon est ouvert.

de, fg. Les deux capucines et leurs branches coudées.

hi. Le support.

k. Le pivot. Il repose dans deux encastremens formés sur une fourche qui termine le support.

m. La bague qui recouvre l'ouverture du canon.

np. Les tringles fixées à la bague; en *n* sont des oreilles saillantes au moyen desquelles on les fait glisser dans les coulisses des capucines.

q. L'arc de cercle fixé sous la partie antérieure du canon.

r, r, r. Vis qui servent à fixer sur le canon les capucines et l'arc de cercle.

s. Clavette pour maintenir le pivot dans ses encastremens.

t. Monture. Le fût se termine au-dessous de de la capucine postérieure.

Ce système ne présente que d'une manière incomplète les avantages du chargement par la culasse. La distance entre l'ouverture du canon et le tonnerre oblige à conserver l'usage d'une baguette. La balle n'est pas forcée ou bien elle ne peut l'être que dans la partie antérieure ; et dans ce cas, elle y produit un choc violent, après avoir parcouru librement la partie postérieure. Le support est très-compliqué, et la manœuvre serait pénible.

Figure 2ᵉ.

Le tonnerre est fixé par une charnière à un chariot mobile, qu'on fait avancer ou reculer au moyen d'un système de trois coins, qui traversent la partie antérieure de la poignée dans le sens vertical. Le chariot en reculant entraîne le tonnerre, le détache du canon, et le laisse libre de tourner sur la charnière, pour se relever et recevoir la charge. Un mouvement contraire réunit le tonnerre au canon.

A. Le canon vu du côté de la platine ; le tonnerre séparé du canon.

B. Le canon vu par dessus, le tonnerre séparé.

C. Coupe faite au milieu du système de coins par un plan perpendiculaire à l'axe.

ab. Le tonnerre.

b. La charnière qui le réunit au chariot.

dce. Le chariot.

fg. Le coin du milieu. Il sert à faire reculer le chariot.

hk, *hk*. Les coins latéraux. Ils font reprendre au chariot sa première position. Le système de coins fait alors saillie au dessous du bois.

mn. Plate-forme sur laquelle glisse le chariot.

L'ajustage des coins est très-difficile; et dans leurs mouvemens ils éprouvent des frottemens considérables. Dans les deux positions qu'ils occupent, ils forment au dessus ou au dessous de la poignée une saillie incommode, et ils laissent des vides dans lesquels toutes sortes de corps étrangers peuvent s'introduire.

Figure 3e.

Le canon est brasé sur une boîte en fer qui enveloppe sa partie inférieure dans une certaine étendue. Cette boîte contient le tonnerre mobile avec une pièce qui lui sert d'appui, et se termine par un prolongement semblable à une queue de culasse. Le tonnerre porte à sa partie postérieure deux tourillons, qui glissent dans des coulisses pratiquées sur les parois de la boîte, et sur les-

quels il se relève pour recevoir la charge. La pièce d'appui porte un ressort qui fait entrer un tenon dans un évidement creusé sur le tonnerre, lorsque celui-ci est réuni au canon, et elle est attachée par une charnière à la fausse queue de culasse. Pour charger, on dégage le ressort, et, après avoir renversé la pièce d'appui sur sa charnière, on fait glisser le tonnerre sur ses tourillons, et on le relève. On referme le canon par des mouvemens en sens inverse.

A. Le canon fermé vu du côté de la platine.

B. Le canon fermé vu par dessus.

ab. Le tonnerre; *bb*, les tourillons.

def. La boite; *bc*; *bc*, les coulisses.

hik. La pièce d'appui.

e. Charnière de la pièce d'appui.

mnp. Le ressort; *n*, le tenon; *p*, anneau pour dégager le tenon et renverser la pièce d'appui.

q. Anneau pour relever le tonnerre.

rs. Ouverture longitudinale sous la boite pour donner issue à une partie des gaz développés par la poudre, à la crasse, et aux corps étrangers.

Cette disposition a l'avantage d'être d'une construction assez simple et d'une manœuvre facile. Mais la position de la charnière oblige à terminer la pièce d'appui par une surface cylindrique, pour que, dans son mouvement circulaire, elle puisse rentrer dans le logement qu'elle occupe derrière le tonnerre. Il en résulte, que l'effort du recul agit

obliquement sur cette pièce, sur la charnière et sur le bois lui-même, dans lequel la queue de culasse est encastrée, qu'il fatigue beaucoup toutes ces parties, et qu'il y produit des dégradations rapides.

Planche X, fig. 1re.

Comme dans le fusil représenté par la *fig.* 3 de la *planche IX*, le canon est brasé sur une boîte qui enveloppant sa partie inférieure jusqu'à la hauteur de l'axe, sur une longueur de $0^m,08$ environ, reçoit le tonnerre, mobile sur deux tourillons, et une pièce d'appui ou *coussinet*. Mais la charnière de ce coussinet a été placée parallèlement à l'axe, sur le côté opposé à la platine. De cette manière il peut avoir ses deux faces antérieure et postérieure planes et parallèles, et l'effort du recul agit directement sur des surfaces d'une étendue suffisante, sans affecter les parties nécessaires pour le jeu du mécanisme.

Le coussinet a, du côté de la platine, un ressort qui introduit un tenon dans un évidement pratiqué sur la paroi de la boîte, et un bouton qui sert à dégager ce ressort lorsqu'on veut ouvrir le canon. Le ressort étant dégagé, on renverse le coussinet, et, le laissant suspendu sur la charnière, on relève le tonnerre pour y mettre la charge,

comme dans le fusil précédent. Tont ce système est mis en bois à peu près comme un canon ordinaire.

A. Le canon fermé vu du côté de la platine.

B. Le canon fermé vu par-dessus.

C. Projection du tonnerre sur un plan perpendiculaire à l'axe.

D. Le coussinet.

ab. Le tonnerre, *bb* les tourillons.

def. La boîte, *bc* les coulisses.

ghk. Le coussinet, *g* la charnière, *hk* le ressort, *h* le bouton sur lequel on appuie pour dégager le ressort.

m, Crochet pour relever le tonnerre.

Figure 2.

Le canon et le tonnerre sont disposés comme dans les deux fusils précédens; mais la boîte qui les reçoit n'est pas fermée par un fond à sa partie postérieure; le dessous se prolonge, et sert de pièce de détente; sur le dessus est assemblée une pièce qui figure une queue de culasse, et qui suit le contour de la poignée. Entre cette fausse queue de culasse et le dessous de la boite, dans le plan vertical de l'axe, est placée une forte tige à six pans, enveloppée par un cylindre qui porte un mentonnet. Cette tige fait corps avec une sous-garde mobile. Lorsque l'arme est disposée pour

tirer, cette sous-garde est maintenue par un ressort dans la situation ordinaire, le mentonnet appuie sur le tonnerre, et celui-ci est réuni au canon. Lorsqu'on veut charger, on dégage le ressort en pressant sur le bouton, et on fait faire à la sous-garde un quart de révolution du côté de la platine. Alors le mentonnet est éloigné du tonnerre, et celui-ci peut se séparer du canon, et se relever, pour recevoir la charge. Un petit ressort fixé sur la pièce de détente empêche tout mouvement de la détente, tant que la sous-garde n'est pas bien remise en place, et prévient ainsi les accidens qui pourraient arriver, si le coup partait sans que le tonnerre fût complétement réuni au canon, et maintenu par le mentonnet. Le bois n'enveloppe pas la boîte, il ne forme qu'une couche qui est fixée entre la pièce de détente et la fausse queue de culasse.

A. Le canon fermé vu du côté de la platine.

B. Le canon fermé vu par-dessus. La fausse queue de culasse est enlevée, pour laisser voir le mentonnet et les parties du mécanisme qui sont établies sur la pièce de détente.

ab. Le tonnerre, *bb* les tourillons.

ce. La fausse queue de culasse.

def. La boîte.

gh. Les coulisses. Elles sont fermées à l'extérieur par deux petites plaques de fer retenues chacune par deux vis.

mno. La tige à six pans, et la sous-garde mobile.

pq. Le cylindre qui enveloppe la tige ; *p*, le mentonnet; *q*, griffe servant, lorsque la sous-garde est remise en place, à écarter le ressort qui auparavant empêchait la détente d'agir.

qrs. Ressort qui maintient la sous-garde lorsque le canon est fermé ; *r*, tenon qui s'introduit dans l'extrémité de la sous-garde pour la retenir ; *s*, bouton sur lequel on presse pour dégager le ressort lorsqu'on veut ouvrir le canon.

tvx. Ressort qui empêche la détente d'agir tant que la sous-garde n'est pas remise en place ; la partie *v* arrête la détente en se plaçant sous un cran formé sur cette pièce ; l'extrémité *x* est rencontrée par la griffe *q* : lorsque la sous-garde est remise en place, le ressort est écarté et la détente redevient libre.

yz. Visière et hausse mobile.

Ces deux derniers systèmes ayant paru satisfaire à peu près également aux principales conditions du service, ont été adaptés aux deux modèles de fusil de rempart qui viennent d'être éprouvés dans les trois écoles de Vincennes, Metz et Strasbourg.

DESCRIPTION

D'UNE

MACHINE POUR DÉCOUPER LES CUIRASSES,

Présentée par M. PARRIZOT,
Lieutenant-colonel d'artillerie.

L'adoption d'un nouveau modèle de cuirasse, et la disposition qui prescrit de fabriquer à l'avenir cette arme défensive dans les manufactures royales d'armes, ont fait sentir la nécessité d'employer, pour découper les feuilles d'étoffe préparées pour cette fabrication, une machine particulière, qui, en même temps qu'elle faciliterait l'opération et réduirait la main-d'œuvre, donnerait la garantie de l'identité des formes et de la précision des dimensions. Une machine fut en conséquence construite à l'atelier de précision, sur les dessins de M. le lieutenant-colonel Parrizot, directeur de cet atelier. Elle fut ensuite envoyée à la manufacture royale d'armes de Klingenthal où elle fonctionne depuis un an.

Plusieurs projets avaient été présentés. On avait proposé de découper le contour de la cui-

rasse par le mouvement circulaire de deux cylindres parallèles, dont les extrémités à double courbure faisant cisailles, découpaient successivement les diverses entailles de la cuirasse; cette idée n'a pas été suivie à cause de la difficulté d'ajuster intimement l'un avec l'autre le contact de ces taillants à double courbure, et de celle que présente l'affût de ces taillants. De plus, le mouvement circulaire entraînant avec rapidité tout ce qui se trouve sur son passage, la manœuvre de cette machine eût entraîné de graves inconvéniens. Ce genre de cisaille ne convient généralement que pour les sections rectilignes, et c'est le seul emploi qu'on en fasse actuellement dans les arts.

On avait aussi proposé de découper les cuirasses d'un seul coup de balancier; ce projet eût été exécutable; mais il eût exigé que cette machine eût des proportions colossales, et comme il y a des cuirasses de trois tailles, il aurait fallu trois balanciers découpoirs. On a donc aussi dû renoncer à l'exécution de ce projet.

On s'est arrêté à l'emploi d'un simple *levier*; et, pour n'avoir besoin que d'un seul instrument, on a disposé ce levier de manière à le faire couper en avant et en arrière de son point d'appui, ou plutôt de son centre de mouvement. Les périmètres des trois numéros de cuirasse étant les mêmes pour les entailles courbes du col et des

bras, les différentes grandeurs s'obtiendront par l'allongement des portions rectilignes qui terminent ce périmètre. On voit, d'après cela, qu'il suffit que la machine découpe le col, l'entaille d'un bras et la ligne droite, car l'entaille de l'autre bras étant symétrique, on retourne seulement la feuille de tôle pour la découper.

Des *guides* placés sur la machine, et trois *patrons* rectilignes (un pour chaque numéro de cuirasse), tenus sur la feuille à découper par des *sergens* d'une forme convenable, servent à découper très-promptement la cuirasse sans qu'il soit nécessaire de la tracer. On a pris toutes les précautions pratiques nécessaires pour bien assujettir le mouvement d'oscillation du levier-découpoir. Le col de la cuirasse est découpé par l'extrémité de ce levier; les bras le sont par la partie située en arrière du point de rotation; enfin la partie opposée a des taillans droits, pour découper les portions rectilignes.

On a satisfait à la condition d'employer un moteur continu, et on conserve toujours la force motrice excédant l'action dont on a besoin pour chaque découpement; la machine donne à l'ouvrier tout le temps dont il a besoin pour bien se mettre sous les *taillans*, et elle n'agit qu'à son commandement, pour se remettre ensuite d'elle-même dans sa position première, c'est-à-dire dans une position prête à fonctionner, quelle que

soit la coupure à faire. Ces conditions, très-avantageuses pour ce genre de travail, sont remplies d'une manière très-satisfaisante, et les moyens employés, qu'on croit nouveaux en mécanique pratique, sont déjà imités dans divers ateliers industriels.

Tous les *taillans* de la machine sont disposés de manière à n'avoir besoin que d'un *affût* plan, le seul qu'on peut employer dans les travaux d'usine. Des *vis de rappel* font joindre intimement les taillans en opposition.

Le mouvement circulaire peut être imprimé à cette machine par un moteur quelconque; mais la dépense de force motrice continue est si faible, qu'un seul homme suffit pour la faire agir. On conçoit facilement ce résultat, si on observe que la force motrice continue, dont rien ne se perd après les momens d'action, s'accumule continuellement par la force centrifuge du volant, pendant le temps que la machine à découper reste en repos, pour donner à l'ouvrier la facilité de se bien placer sous les couteaux.

Les dessins, *Planches XI et XII*, indiquent à l'échelle de $0^{m},10$ pour mètre, toutes les précautions prises pour avoir un bon ajustement, et pour obtenir la résistance nécessaire dans les diverses parties dont se compose la machine. La légende suivante donnera les détails de construc-

tion dont on n'a pas cru convenable de parler dans la description sommaire ci-dessus.

Planche XI, fig. 1re. Élévation de la machine à découper les cuirasses.

A. Levier-découpoir tournant autour du point d'appui *D* : son extrémité découpe le col; les taillans ou couteaux du côté de la queue découpent les bras et les portions rectilignes. Le mouvement de la queue du levier *A* est bien guidé entre deux arcs en fonte faisant partie de la base de la cisaille. Ce levier porte près de la charnière, une saillie inférieure qu'on voit ponctuée dans l'élévation; cette saillie se meut sans aucun jeu entre les deux côtés parallèles de la base de la cisaille; elle est destinée à maintenir le derière du levier-découpoir *A*, quand il fonctionne sur ses côtés.

B. Base en fonte solidement fixée au sol de l'usine; entre ses deux joues se meut le levier-découpoir *A*. Deux arcs en fonte décrits du centre de rotation du levier *A* servent à maintenir la queue de ce levier dans ses momens d'action.

CC. Pates et boulons pour fixer au sol la base *B* de la cisaille.

D. Boulon en étoffe.

E. Vis pour mettre en contact les taillans de la base *B* avec ceux du levier-découpoir *A*.

F. Levier à contre-poids pour ramener la queue du levier-découpoir *A* dans la position

d'attente, soit que le levier *A* coupe en avant ou en arrière de son point d'appui *D*. Dans le premier cas, le contre-poids du levier reste stationnaire ainsi que la bride *H*, laquelle arrête la queue du levier *A* dans sa descente, après qu'il a coupé par son extrémité. Dans le second cas, le contre-poids est enlevé par suite de l'action du levier *A* sur la bride *H*; et comme le levier redevient libre après avoir coupé, le contre-poids par sa pesanteur ramène la machine dans sa position première.

G. Tirans en fer pour mettre en communication le levier *F* avec la bride *H*. L'extrémité inférieure de ces tirans est taraudée pour mettre la bride *H* dans une position convenable.

H. Bride en fer pour maintenir la queue du levier *A* à la hauteur convenable.

I. Tige cylindrique adaptée au levier *A*; elle passe librement dans le milieu de la bride *H*, afin de maintenir cette bride toujours à la même place après les momens d'action du levier *A*.

K. Couteau pour enlever le col de la cuirasse.

L. Couteau pour enlever les bras; le couteau de l'autre côté du levier *A* coupe les sections rectilignes.

M. Palette en fer se mouvant librement dans une mortaise pratiquée à l'extrémité du levier *A*. Cette palette a un mouvement alternatif de va-et-vient, produit par la rotation d'un arbre de

couche coudé placé dans la verticale au-dessus de la machine. Cette palette est percée, à la hauteur convenable, d'un trou ovale : ce trou sert à embrayer la queue du levier *A* avec la palette, à l'aide d'un goujon en étoffe, dont il sera question dans la description des figures 2 et 3.

N. Bielle communiquant de la manivelle de l'arbre de couche à la palette *M*.

Figure 2. Plan de la machine.

A. Levier découpoir.

B. Base stable de la machine.

C. Pates pour fixer au sol la base *B*.

D. Boulon en étoffe qui sert d'axe au levier-découpoir.

E. Vis pour mettre en contact les couteaux.

F. Levier à contre-poids pour maintenir constament la queue du levier-découpoir *A* dans la position d'attente.

G. Tirans en fer à bout taraudé, pour faire communiquer le levier *F* avec la bride *H*.

H. Bride pour maintenir la queue du levier *A*.

I. Tige directrice de la bride *H*.

K. Couteau pour enlever le col de la cuirasse.

L. Couteau pour enlever les bras.

M. Projection de la palette qui se meut librement dans l'extrémité du levier-découpoir *A*.

N. Extrémité de la bielle; elle fait charnière avec la palette *M*.

O, *O*. Goujon en étoffe destiné à embrayer la queue du levier *A* avec la palette *M*, pour les momens d'action de la machine. Un ressort spirale en laiton tient toujours ces goujons dégagés du trou de la palette; mais, au commandement de l'ouvrier placé aux couteaux, son aide appuie sur l'un ou l'autre de ces goujons suivant la coupure à faire; alors le goujon entre dans le trou de la palette à son passage, et le levier *A*, venant à s'élever ou à s'abaisser, engage ses taillans sur la pièce à découper. Dans ce moment la résistance qu'éprouve le levier *A* suffit pour tenir le goujon engagé dans la palette *M*. La coupure faite, la spirale en laiton redevient prépondérante, et dégage le goujon de la palette. C'est pour faciliter ce dégagement aux pointes de passage de la bielle *N*, que le trou de la palette qui reçoit le goujon est un peu ovale.

P. Couteau pour les sections rectilignes: l'arête opposée de la base de la machine est parallèle au taillant droit.

Q. Guides pour placer la cuirasse dans le découpement des portions courbes du col et des bras. On ne doit procéder à ce découpement qu'après avoir fait toutes les sections rectilignes de la manière qui sera indiquée dans la suite de cette légende.

Figure 3. Vue de la machine par son extrémité.

A. Extrémité du levier-découpoir.

B. Base stable de la machine.

C. Pates et boulons pour fixer au sol la base de la machine.

E. Vis pour mettre en contact les couteaux pour découper les bras.

F. Levier à contre-poids pour maintenir la queue du levier-découpoir.

G. Tirans à bout taraudé pour faire communiquer le levier *F* avec la bride *H*.

H. Bride pour soutenir la queue du levier-découpoir.

I. Tige directrice de la bride *H* pendant les mouvemens du levier *A*.

M. Palette qui se meut librement dans la mortaise pratiquée dans l'extrémité du levier *A*.

N. Bielle qui communique de la palette *M* à la manivelle de l'arbre de couche.

O, *O*. Goujons pour embrayer la palette *M* avec la queue du levier *A* dans les momens d'action de la machine.

S, *S*. Vis d'arrêt pour tenir le goujon *O* dans sa position de débrayement : l'extrémité de ces vis se loge dans une cannelure pratiquée le long du goujon.

Figure 4. Patron d'un numéro de cuirasse; il est tenu sur la feuille destinée à fournir une cuirasse, par deux sergens posés aux point *A* et *B*. Les points de repère *A* et *B* se placent

sur la feuille de tôle, de manière à obtenir la cuirasse sans aucun défaut; les sergens sont assez échancrés pour tourner sur leur point d'appui. La feuille de tôle fixée au patron est portée aux taillans droits de la cisaille, le patron en dessous; l'ouvrier applique exactement les côtés de ce patron contre la partie droite de la base de la cisaille; quand il est bien en place, il commande à son aide l'abaissement du levier-découpoir. C'est pour permettre le contact de ce patron avec le bord de la base de la cisaille, que les sergens qui le tiennent ont un mouvement de déplacement. Toutes les coupures rectilignes parallèles au patron étant faites, on dévisse les sergens; l'ouvrier porte alors la cuirasse sous l'extrémité du levier, où des guides, emboîtant les portions rectilignes de la cuirasse, servent à la maintenir pour le découpement du col, il en est de même pour le découpement des bras.

Figure 5. Coupe longitudinale de la machine.

Planche XII, *figure* 1re. Élévation perspective de la machine.

Figure 2. Détails de l'engrenage, échelle de $0^{m},20$ pour mètre.

A. Pignon adapté à l'arbre du volant et du tambour qui reçoit la courroie communicatrice du mouvement. Ce pignon doit faire environ 35 tours à la minute; il tourne librement sur son

arbre de couche, mais des brides à oreilles *B*, *B* le fixent avec cet arbre. Les oreilles de ces brides sont de dimensions à casser avant les dents du pignon, si un obstacle quelconque venait à enrayer la machine; alors, cette rupture rendant libre le pignon, le volant continue sa marche sans aucun dommage pour les autres parties de la machine; le remplacement des oreilles *B* se fait dans l'instant.

B. Bride à oreille pour fixer le pignon *A*, tournant librement sur son arbre de couche avec ledit arbre.

C. Roue dentée adaptée à l'arbre coudé qui donne le mouvement alternatif à la bielle.

Figure 3. Projection du coude de l'arbre de couche, et détails de construction de l'extrémité de la bielle.

Figure 4. Extrémité de la bielle vue de face.

Figure 5. Assemblage de la bielle avec la palette qui entre dans la mortaise pratiquée à l'extrémité du levier-découpoir.

EXTRAIT

DU

MANUEL DES OFFICIERS,

SUR

LES PARTIES TECHNIQUES DE L'ART DE LA GUERRE,

PAR G. DE SCHARNHORST;

Traduit de l'allemand par M. DE FOURCY, ancien capitaine d'artillerie.

Tome III, Section II.

CHAPITRE III.

DE LA PROBABILITÉ DE TOUCHER.

§ 187.

Soit la ligne *cfh*, *fig.* 5, *pl.* V, la trajectoire du boulet, le canon étant pointé de manière que l'axe de l'âme soit parallèle à la surface du terrain; il est évident que tout homme placé entre *c* et *h* sera touché, en supposant que la verticale *ef* ait six pieds de hauteur. Lorsque l'axe de la pièce s'élève, comme dans le tir de but en blanc, le boulet arrive à terre sous un

angle trop ouvert pour pouvoir rencontrer en *f* un objet de 6 pieds de hauteur. Le tir de but en blanc ou sous l'angle de 1 degré, est représenté dans la figure 6. Dans ce cas, à 500 pas (1), le boulet est à $18 \frac{1}{3}$ pieds environ au-dessus de la surface du terrain, et à $12 \frac{1}{3}$ pieds au-dessus de la tête d'un homme placé en *e*. Sous l'angle de 2 degrés, le boulet s'élève à une hauteur à peu près double, etc. L'expérience a appris que le boulet tombe sous un angle à peu près double de celui sous lequel il a été tiré. Aussi l'angle *ghm*, *fig.* 6 (angle de chute ou d'incidence), est de deux degrés dans le tir de but en blanc (l'angle *lkf* étant dans ce cas de 1 degré), et la ligne *hm* est d'environ 67 pas, quand *gm* est de 6 pieds. Ici, par conséquent, tous les hommes qui se trouvent sur *h m*, peuvent être touchés. Mais comme le boulet, dans un terrain uni et très-dur, se relève sous un angle à peu près égal (angle de réflexion), il y a autant d'hommes exposés au boulet dans l'espace *hi*, que dans l'espace *h m*. Ainsi, quand on donne à l'axe de la pièce un degré d'élévation, tous les hommes qui se trouvent dans une étendue de 135 pas, de *m* en *i*, peuvent être touchés. Sous l'angle de 2 degrés, *fig.* 7, l'angle *ghm* est d'environ 4 degrés, et par con-

(1) Le pas vaut 2 pieds 4 pouces du Rhin (environ 73 centimètres).

séquent deux fois aussi grand que ci-dessus; l'angle de réflexion est de la même grandeur. Dans ce cas, *gm* étant toujours de 6 pieds, *hm* n'a pas plus de 33 pas. En conséquence, lorsqu'on tire sous l'angle de deux degrés, tous les hommes qui se trouvent dans un espace de 66 pas, peuvent être touchés; sous l'angle de trois degrés, cet espace n'est que de 45 pas.

Si le terrain sur lequel tombe le boulet n'est pas entièrement dur et uni, comme sur une bruyère accidentée et dans les terres labourées, l'angle de réflexion est souvent beaucoup plus grand que l'angle d'incidence. Lorsqu'il en est le double, l'espace battu jusqu'à la hauteur de 6 pieds est

Sous l'angle de 1 degré,	d'environ 100 pas
de 2	50
de 3	33

Or l'expérience apprend que, lorsque les boulets ont peu de vent et sont bien confectionnés, les portées du but en blanc ou d'un degré et celles de deux degrés d'élévation ne diffèrent pas l'une de l'autre; pour la plus grande partie des coups, de plus de 250 pas (1); on peut donc estimer qu'en tirant sous l'angle de 1 degré contre un panneau

(1) Pour toutes les expériences citées par l'auteur, on peut consulter dans l'ouvrage original les tableaux qui en présentent les résultats détaillés. *Voyez* le 12ᵉ. ta-



de 6 pieds de hauteur, le nombre des coups qui toucheront sera du tiers à la moitié du nombre total ; car, sur cet intervalle de 250 pas, il y en aura de 100 à 135 où les coups porteront à la hauteur convenable. On trouve de la même manière que le nombre des coups qui toucheront, en tirant sous l'angle de 2 degrés, sera du $\frac{1}{6}$ au $\frac{1}{4}$, et sous l'angle de 3 degrés du $\frac{1}{9}$ au $\frac{1}{6}$ du nombre total.

§ 188.

Les notions qui viennent d'être exposées sur la probabilité de toucher, indiquent l'effet qu'on obtiendrait en tirant contre un panneau de six pieds de hauteur. On obtiendra évidemment avec d'autres panneaux un effet d'autant plus grand, que le panneau aura plus de hauteur. Avec un panneau de 9 pieds, par exemple, l'effet augmenterait dans le rapport de 6 à 9, de sorte que le nombre des boulets qui toucheraient, en tirant contre ce panneau de 9 pieds, serait

Sous l'angle de 1 degré	du $\frac{1}{2}$	au $\frac{3}{4}$	du nombre total.
2	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	
3	$\frac{1}{6}$	$\frac{3}{12}$	

Dans cette estimation de l'effet, on suppose toujours que la distance de l'objet est connue, et que l'on choisit l'angle convenable à cette dis-

---

bleau du 2e. vol., le 5e. tableau du 1er. vol., les 11e., 12e., 13e. . . . . . . et 18e. tableaux du 3e. volume.

tance ; mais si l'on se trompe de 100 pas sur la distance, ou de $\frac{1}{3}$ de degré en dessus ou en dessous sur l'élévation convenable, l'effet est d'environ $\frac{1}{3}$ plus petit ; si l'erreur est de 200 pas dans l'estimation de la distance, ou de $\frac{2}{3}$ de degré dans l'élévation, l'effet est de $\frac{2}{3}$ plus petit ; et lorsqu'elle s'élève à 300 pas sur la distance, ou à 1 degré sur l'élévation, il est presque certain qu'on ne touchera pas.

En conséquence, pour les divers angles de tir, la probabilité de toucher diminue dans le rapport de l'accroissement des élévations ; cela n'a lieu toutefois que jusqu'au 5e. degré, et au plus jusqu'au 7e. degré. Alors, quand le terrain est mou et inégal, les boulets ne font point de ricochets, et s'arrêtent après la première chute, ce qui diminue l'effet de plus de moitié, et le rend presque nul.

§ 189.

Expériences sur la probabilité de toucher.

Les expériences qui ont été faites sur la probabilité de toucher dans le tir de plein fouet, sont d'accord, jusqu'à un certain point, avec ce qui vient d'être exposé.

1°. En effet, dans ces expériences (1), sur 45 coups tirés à la distance de 800 à 1000 pas,

(1) Tableaux 13 à 18.

et sous l'angle de 1 à 1 ½ degré, 25 boulets ont atteint un panneau en planches de 6 pieds de hauteur; sur 50 coups tirés à 1500 pas, sous l'angle d'environ 3 degrés, 11 boulets ont frappé le même panneau; à 1800 pas, il y a eu 1 boulet sur 30 coups; et à 2000 pas, sur 20 coups, pas un seul boulet n'a frappé. Il faut pourtant remarquer ici qu'en tirant aux distances de 1500 à 2000 pas, il y a des boulets qui ont passé à droite et à gauche du panneau, lequel n'avait que 80 pieds de longueur; et en conséquence, l'effet obtenu dans l'expérience a été un peu moindre qu'on ne devait naturellement l'espérer.

2°. Un panneau de 10 pieds de hauteur sur 36 pieds de longueur a été touché 25 fois en 36 coups, tirés sous l'angle de 1 degré, et avec des charges de 5 et de 6 livres (1). Si le panneau n'avait eu que 6 pieds de hauteur, il n'aurait été touché que quinze fois.

3°. Sur 27 coups tirés à 1280 pas, sous l'angle d'environ 2 degrés, contre un panneau de 12 pieds de hauteur, 14 boulets ont touché (2). Si le panneau n'avait eu que 6 pieds de hauteur, il n'aurait été touché que sept fois, ce qui fait le

(1) Tableaux 24 et 25.
(2) Tab. 27.

quart du nombre des coups. Sur 27 coups tirés à 2570 pas, sous l'angle de 6 degrés, 6 boulets ont donné dans un panneau de 16 pieds de hauteur; ce qui donnerait à peu près $2\frac{1}{2}$ boulets pour un panneau de 6 pieds de haut; mais il faut remarquer que 4 boulets, sur les 6 qui ont touché, avaient ricoché avant d'atteindre le panneau. Ces 4 boulets ne peuvent être comptés dans l'estimation de l'effet, lorsqu'il s'agit du tir de plein jour.

4°. Un panneau de dix pieds de hauteur sur 54 pieds de longueur a été touché : à 100 pas, par $\frac{5}{6}$; à 600 pas, par $\frac{1}{2}$; et à 800 pas, par $\frac{1}{3}$ du nombre des coups (1).

5°. Dans une expérience faite par l'artillerie prussienne, on tira, le 9 septembre 1795, contre un panneau de 6 pieds de hauteur, placé sur une montagne à 1100 pas des pièces. Chaque canon tira 30 coups; sur ce nombre,

La pièce de	6 légère mit dans le panneau	6 boulets
de	6 pesante	10
de	12 moyenne	9
de	12 pesante	8

Le même jour, on tira de haut en bas contre un panneau de 80 pieds de longueur sur 6 pieds

(1) *Voyez* tab. 63.

de hauteur, et placé à la distance de 1100 pas ; sur 15 coups qui furent tirés de chaque pièce,

La pièce de	6 légère mit dans le panneau	4 boulets.
	de 6 pesante	5
	de 12 moyenne	7
	de 12 pesante	5

Dans tous ces coups, les pièces avaient de $1\frac{1}{2}$ à 2 degrés d'élévation. Lorsqu'on les éleva de $1\frac{1}{2}$ à 2 degrés de plus, le panneau ne fut touché que par un boulet sur 30 coups, ou même il ne fut pas touché du tout.

6°. L'artillerie prussienne fit encore une expérience, le 9 janvier 1796, dans laquelle deux pièces de 12 tirèrent à 800 pas, sous l'angle d'environ 1 degré, contre un épaulement de 60 pieds de longueur sur 9 pieds de hauteur; 10 boulets, sur 23 coups de la pièce de 12 moyenne, portèrent dans l'épaulement; et pour la pièce de 12 pesante, 10 boulets sur 19 coups.

Dans les expériences qu'on vient de citer, on connaissait la distance, et l'on donnait par conséquent la hausse convenable. Mais lorsqu'on agit contre l'ennemi, on ne connaît la distance qu'à peu près, les degrés d'élévation ne sont pas donnés exactement, et l'on n'obtient pas tout l'effet ci-dessus indiqué.

§ 190.

De la grandeur des angles d'incidence et de réflexion, à la première chute du boulet.

De nombreuses observations, recueillies dans plusieurs expériences sur les angles d'incidence et de réflexion, n'ont fourni aucun résultat certain. En effet, on y a remarqué de grandes différences, même dans l'angle d'incidence; l'angle de réflexion est encore plus irrégulier, à cause de la diversité des terrains (1).

Dans le plus grand nombre de cas, l'angle d'incidence est à peu près double de l'angle sous lequel le boulet a été tiré. Quelquefois, l'angle de reflexion n'est pas plus grand que l'angle de tir, mais le plus souvent il est double ou triple. Au reste il faut encore remarquer ici que les expériences qui ont fourni ces résultats, ont été faites pour d'autres objets, et qu'ils ne sont pas conséquemment assez exacts et assez sûrs pour qu'on puisse en conclure quelque chose de décisif sur cette matière.

On a remarqué, en outre (2), que lorsque l'angle de réflexion était grand, le bond que fait le boulet de la première à la deuxième chute,

---

(1) *Voyez* 28, 29 et 30e. tab.

(2) *Voyez* tab. 29.

ou le premier ricochet, était aussi très-grand; par exemple, avec une pièce de 12, sous l'angle de 1 degré, et avec 3 livres de charge, les boulets sont tombés à 30 pas en avant du but; ils ont traversé celui-ci à 6 $\frac{3}{4}$ pieds de hauteur, et n'ont frappé la terre, pour la seconde fois, qu'à 812 pas au delà. Ainsi, le premier ricochet est ici de 30 + 812 = 842 pas, et l'angle de réflexion est d'environ 4 degrés, c'est-à-dire quatre fois plus grand que l'angle sous lequel la pièce était pointée.

Dans une autre expérience (1), le boulet a fait sa première chute à 64 pas en avant du but; il a rencontré celui-ci à 6 $\frac{1}{2}$ pieds de hauteur, et il a touché la terre, pour la seconde fois, à 430 pas au delà. Le ricochet est donc de 494 pas; l'angle de réflexion est d'environ 2 degrés, et double de l'angle sous lequel le boulet a été tiré.

On doit dire pourtant que ces rapports réguliers entre l'angle de réflexion et la grandeur des ricochets n'ont pas toujours lieu, et que les ricochets sont beaucoup plus petits sous les grands angles de tir que sous les petits angles. On peut connaître approximativement, par la longueur du premier ricochet, sous quel angle le boulet frappe de nouveau la terre. Il paraît que

(1) *Voyez* tab. 29.

cet angle est à peu près égal à l'angle de réflexion.

Il s'est présenté quelques cas où les boulets ont frappé la terre à la distance de 100 à 300 pas en deçà du but, et, après avoir traversé celui-ci, ont fait leur deuxième chute à la distance de 100 à 300 pas au delà. Ici, par conséquent, l'angle de réflexion doit avoir été plus petit que l'angle de tir. C'est ainsi qu'avec une pièce de 6 pointée de but en blanc, et chargée de 2 $\frac{1}{4}$ livres de poudre, le boulet a fait sa première chute à 297 pas en avant du but, et la deuxième à 422 pas au delà, après l'avoir traversé à la hauteur de 8 $\frac{1}{2}$ pieds. Il serait à désirer qu'il fût fait des expériences spéciales sur cet objet dans des terrains différens; les résultats en seraient également importans pour la théorie et pour la pratique de l'artillerie.

§ 191.

Déviation des boulets dans le plan vertical du tir.

Indépendamment de la pesanteur qui tend à les abaisser vers la terre, les boulets dévient du prolongement de l'axe des pièces, soit par l'effet du vent, soit surtout par l'irrégularité de leur forme, et peut-être aussi par leur rotation.

La déviation occasionée par le vent est rarement de plus de $\frac{1}{4}$ de degré, ou 15 minutes, dans

les cas ordinaires. Lombard (*Traité du mouvement des projectiles*) fit pointer horizontalement les divers canons en usage, et les fit tirer avec différentes charges, à la distance de 24 pieds, contre un panneau mince, sur lequel était marqué le prolongement de l'axe de l'âme; et il trouva que la déviation des boulets dans le plan vertical; c'est-à-dire en dessus ou en dessous du prolongement de l'axe, était au plus de 17 minutes, et le plus ordinairement de 3 à 11 minutes dans les canons de campagne ainsi que dans les pièces longues de 12 et de 8. Cette déviation avait lieu, tantôt en dessus et tantôt en dessous; ainsi la déviation entre le boulet le plus bas et le plus élevé peut être au plus de 34 minutes. Or, une augmentation de 1 degré dans l'élévation entre les angles de 1 et 4 degrés, produisant une augmentation de 160 à 350 pas dans la portée, ces 34 minutes peuvent causer une différence de portée d'environ 80 à 190 pas. Mais l'expérience apprend que les portées obtenues avec une même charge et sous un même angle diffèrent souvent de 350 pas, et quelquefois même de 600 pas et au delà. La différence des portées, avec une même charge et sous un même angle, ne peut donc pas provenir seulement de la déviation occasionée par le vent, et d'autres causes doivent encore y contribuer.

§ 192.

Il existe, même dans les petites armes, des causes de déviation autres que le vent. De là vient qu'une balle exactement ajustée à l'arme, et sans aucun vent, présente une déviation considérable à la distance de 200 à 300 pas. Dans une carabine, où la balle, en parcourant sa trajectoire, tourne toujours autour d'une ligne qui se trouve dans le prolongement de l'axe de l'âme, cette déviation n'a pas lieu, ou du moins elle n'est que très-petite.

La principale cause qui fait dévier les boulets de leur direction initiale, quand ils ne sont pas parfaitement réguliers, c'est la résistance de l'air.

Quand le centre de figure et le centre de gravité ne sont pas les mêmes, il en résulte nécessairement une déviation; en effet, on peut supposer que le poids entier du boulet, pendant le mouvement, se trouve réuni à son centre de gravité Si celui-ci n'est pas au centre de figure, la résistance de l'air agit plus sur l'un des côtés que sur l'autre, et le boulet est écarté de sa trajectoire primitive. Pour la balle de carabine, cela ne peut pas avoir lieu, lors même que le centre de figure et le centre de gravité sont différens, à cause du mouvement de rotation qui a lieu dans le prolongement de l'axe de l'âme.

Des expériences spéciales sur la déviation des projectiles pleins et creux, prouvent incontestablement,

1°. Que les bombes excentriques (celles qui ont un surcroit d'épaisseur à la partie opposée à l'œil), ont une bien plus grande déviation de l'axe de l'âme, que les bombes concentriques (celles dont les parois sont partout d'une même épaisseur);

2°. Que les boulets qui sont de la même grosseur que ces bombes dévient encore moins de l'axe de la pièce que les bombes concentriques (1).

D'après ces expériences, les plus grandes déviations ont été

Sur	Dans les bombes d'une épaisseur inégale.	Sur	Dans les bombes d'une épaisseur égale.	Sur	Dans les boulets qui étaient à peu près du même diamètre que les bombes.
925 pas.	74 pas.	918 pas.	18 pas.	768 pas.	8 pas.
581	27	820	20	420	7
		542	11		

Il est évident que le centre de figure et le centre de gravité sont bien plus différens dans les bombes excentriques que dans les concentri-

(1) *Voyez* tab. 49, 50 et 51 du 2e. vol.

ques, et plus différens dans celles-ci que dans les boulets massifs.

On trouvera au § 195 d'autres expériences et observations qui répandent de la lumière sur cet objet.

Il y a encore beaucoup d'autres causes auxquelles on attribue les *faux coups*; mais l'expérience semble prouver que le vent des boulets et la résistance de l'air, à l'égard des boulets qui ne sont pas tout-à-fait réguliers, doivent être regardés comme les causes principales des faux coups, si, d'ailleurs, le pointage est juste.

§ 193.

Différence des portées sous un même angle et avec une même charge.

1°. La différence qu'on remarque entre les portées obtenues, lorsque les circonstances sont entièrement égales, est ordinairement plus faible dans un petit nombre de coups que dans un grand, parce que c'est dans ce dernier cas que se rencontrent plutôt les déviations fortuites.

2°. Les plus grandes différences qui aient eu lieu entre les portées particulières, dans seize expériences de 6 coups chacune, faites avec des canons de 6 et de 3, c'est-à-dire la différence entre les plus grandes et les plus petites portées de 6 coups, ont été pour le canon de 6 :

Dans 2 expériences, de plus de 500 pas.
2 de 350 à 500 pas.
9 de 200 à 350
Et dans les 3 autres expériences de moins de 200 pas (1).

Pour le canon de 3, où le vent était plus petit, les plus grandes différences des coups particuliers ont été aussi plus petites. Sur seize expériences de 6 coups chacune, il n'en est qu'une seule où la différence ait été de plus de 500 pas.

Dans 3 expériences, elle a été entre 350 et 500 pas.
4 entre 200 et 350.
Et dans les autres de moins de 200 pas.

Ainsi, pour les canons tant de 6 que de 3, les plus grandes différences ont été, dans le quart environ du nombre des expériences, de plus de 350 pas.

3°. Dans diverses expériences de 5 coups chacune, faites avec un canon de 4 français, les différences des coups particuliers s'élèvent pour 0 degré jusqu'à 276 pas, sous l'angle de 3 degrés jusqu'à 562, et sous l'angle de 6 degrés jusqu'à 872 pas (2).

4°. Dans dix-huit autres expériences, de 10 coups chacune, on remarque les résultats suivans (3) :

---

(1) *Voyez* 12e. tab., 2e. vol.
(2) Tab. 8e., 2e. vol.
(3) Tab. 13 à 18, 3e. vol.

Dans 2 expériences, la différence est de plus de 800 pas.
5 . . . . entre 505 et 647 pas.
5 . . . . entre 350 et 495
6 . . . . entre 185 et 333

En ne comptant même pas les deux premières différences, celles qui sont de plus de 800 pas, la différence des coups particuliers des $\frac{2}{3}$ environ du nombre des expériences est encore de plus de 350 pas.

5°. Dans les obusiers, les différences des portées avec la charge ordinaire sont beaucoup plus considérables que dans les canons.

Dans cinq expériences faites avec l'obusier de 7 *livres stein*, et dont les quatre premières furent de 9 coups chacune et la dernière de 15 coups, les différences sur 2,000 pas furent de 860, 980, 1,060, 730 et 1,000 pas (1).

Avec 1 $\frac{3}{4}$ livre de charge, sur 10 coups tirés sous les angles de 4, 5, 9, 10 et 15 degrés, les différences entre les plus grandes et les plus petites portées sont de 688, 791, 662, 675 et 700 pas (2).

En comparant ces différences avec celles qui ont été observées dans les canons, et que nous avons rapportées ci-dessus, on se convaincra que les canons présentent incontestablement de plus petites différences que les obusiers, et que le rapport est à peu près celui de 5 à 7.

(1) Tab. 23, 3e. vol.
(2) Tab. 68.

Il est vrai que les différences observées sur 5 coups, dans l'obusier de 10 *livres stein* (1), ne sont pas plus considérables que celles des canons de 6 et de 3 dans la 12ᵉ. table du deuxième volume, ou que celle des canons de 4 dans la 8ᵉ. table du même volume. Mais cette égalité entre les différences n'a lieu que dans les petites portées, où les canons tirent à charge ordinaire sous de petits angles, et les obusiers sous des angles élevés avec une petite charge. Aussitôt que les uns et les autres tirent avec les charges ordinaires, on voit que les canons présentent, toutes circonstances égales, de plus petites différences de portées que les obusiers.

Ainsi, dans le tir à grandes distances, les différences de portées de l'obusier de 10 livres, sur 2,500 à 2,600 pas, ont été de 848, 660, 474, 964, 1,027 (2); et toutes ces différences sont bien plus considérables que celles qui ont eu lieu dans les canons sur des portées aussi grandes (sous l'angle de 6 degrés), et qui sont de 872, 312, 350, 215, 772 et 487 pas.

Les différences des portées de l'obusier de 7 livres (3) sont extrêmement considérables; pour 9 coups, elles ont été, sur 500 à 600 p●, de 213,

(1) Tab. 15 et 16, 2ᵉ. vol.

(2) *Ibidem.*

(3) Tab. 6 à 9, 3ᵉ. vol.

529, 499, 174, 256; sur 1,000 pas, de 847, 803, 625, 844; et sur 1,500 pas, de 640; 1,275, 1,748, 1,433, 1,219 pas.

Ces grandes différences sont produites en partie par l'inégalité d'épaisseur des parois des obus. On a remarqué en effet, que les obusiers de 7 livres donnent de bien plus grandes différences que les obusiers de 10 livres, parce que, dans ces derniers, les parois des obus sont proportionnellement plus épaisses, et que ces obus diffèrent moins des boulets massifs; en effet l'obus de 7 *livres stein* pèse 14 livres, et l'obus de 10 *livres stein* pèse de 25 à 27 livres. Conséquemment le vide intérieur est beaucoup plus petit, proportion gardée, dans le dernier que dans le premier.

§ 194.

Déviation latérale des coups de plein fouet.

1°. Déviations latérales depuis 400 jusqu'à 800 pas.

La déviation latérale des boulets, pour les coups de plein fouet, a été, dans une première série d'expériences (1),

(1) Tab. 63, 3e. vol.

	Pour la moitié du nombre des coups.	Pour le nombre total des coups.
A 400 pas en 47 coups.	5 ½ pieds.	21 ½ pieds.
608 48	7 ½	22

La déviation des obus a été (1),

A 535 pas en 12 coups.	9 pas.	18 pas.
831 14	9	20
A 4 ou 500 pas en 10 coups.	6 pas.	12 pas.
7 ou 800 10	9	37

D'après d'autres expériences, la déviation des boulets est ordinairement plus petite. Ainsi, dans celles qui sont rapportées au 4ᵉ. tableau du 2ᵉ. volume, la plus grande déviation latérale du canon de 12, sur 5 à 600 pas, est d'environ 2 pas, pour la moitié du nombre des coups; et de 6 pas, pour le nombre total des coups. A 800 pas, la déviation n'est pas beaucoup plus considérable, excepté dans deux coups, dont l'un a une déviation de 15 pas.

Les plus grandes déviations des boulets de 12, dans le 5ᵉ. tableau du deuxième volume, et des boulets de 6 dans le 6ᵉ. tableau, s'accordent jusqu'à un certain point avec celles que nous venons de rapporter; mais celles des boulets de 3 dans le 7ᵉ. tableau sont plus considérables. D'après ce tableau, les plus grandes déviations du canon de

(1) Tab. 15, 16 et 51, 2ᵉ. vol.

3, sur 600 à 700 pas, sont de 3 pas pour la moitié du nombre des coups, et de 12 pas pour le nombre total des coups; mais il y a un coup dont la déviation a été de 31 pas (1).

2°. Déviations latérales dans des portées de 1,200 à 2000 pas.

Dans une série d'expériences (2), les plus grandes déviations du canon de 12, sur 1,600 à 1,800 pas, n'ont pas été de plus de 12 pas pour la moitié du nombre des coups, ni de plus de 30 pas pour le nombre total. Il faut en excepter un coup, dont la déviation a été de 88 pas.

La déviation du canon de 6 a été plus considérable, peut-être parce que le vent était plus grand.

La moitié des boulets de la pièce de 3 n'ont pas dévié sur 1,300 à 1,400 pas, de plus de 12 pas; mais les plus grandes déviations du nombre total

---

(1) C'est une chose très-surprenante que la déviation latérale ait été plus considérable dans le canon de 3 que dans le canon de 6, quoique ce dernier eût un vent plus grand et une plus grande différence entre ses portées. Voyez le 12e. tableau du deuxième volume. Dans les expériences prussiennes, le canon de 3 a eu pareillement la déviation la plus considérable. Voyez l'explication des tableaux 13 à 18.

(2) Tab. 4, 5, 6 et 7, 2e. vol.

des coups vont jusqu'à 56 pas, en mettant hors de compte un coup dont la déviation est de 74 pas.

Les résultats consignés dans le tableau qui suit, tirés d'expériences prussiennes, diffèrent un peu de ceux qu'on vient d'exposer.

Dans ce tableau, les déviations des obusiers, quand on emploie de fortes charges, sont deux à trois fois plus grandes que celles des canons.

§ 195.

Déviations latérales des coups de plein fouet.

	CALIBRE.	Nombre des coups.	Distance en pas.	NOMBRE DES COUPS dont la déviation n'est pas de plus de — 10 pas.	10 à 25 pas.	25 à 50 pas.	50 à 100 pas.	Déviation de plus de 100 pas.
Extrait des expériences des tables 13 à 18.	Canon de 3	10	1200	5	5	»	»	»
		10	1500	»	7	3	»	»
		9	1800	»	2	4	3	»
	Canon de 6 léger	10	1200	5	5	»	»	»
		10	1500	6	3	1	»	»
		10	1800	3	»	4	3	»
	Canon de 6 pesant	10	1200	6	4	»	»	»
		10	1500	4	3	2	1	»
		10	1800	1	4	4	1	»
	Canon de 12 ordinaire	10	1000	9	1	»	»	»
		10	1500	9	1	»	»	»
		10	2000	1	5	3	1	»
	Canon de 12 dit *grondeur*	10	1000	9	1	»	»	»
		10	1500	7	3	»	»	»
		10	2000	2	2	6	»	»
Extrait des expériences des tables 6 à 9.	Obusier de 7 livres stein. Obus excentriques	9	494	5	4	»	»	»
		9	1213	3	1	3	2	»
		9	1686	»	2	2	3	2
		9	425	8	1	»	»	»
		9	1015	3	»	3	»	3
		9	1596	»	1	1	5	2
		9	611	5	2	2	»	»
		9	1072	1	3	3	2	1
		9	1776	»	2	3	2	2
		9	400	8	1	»	»	»
		9	998	»	6	2	1	»
		9	1660	»	»	2	3	4
		9	604	4	3	2	»	»
		9	1326	»	1	3	2	3
		9	1558	»	2	1	5	1

	CALIBRE.	Nombre de coups.	Distance en pas.	NOMBRE DES COUPS dont la déviation n'est pas de plus de — 10 (Pas.)	10 à 25 (Pas.)	25 à 50 (Pas.)	50 à 100 (Pas.)	Déviation de plus de 100 pas.
Extrait des expériences de la 13e. table.	Obusier de 7 livres. Obus concentriques.	9	2091	»	»	1	2	6
		9	2180	»	2	»	3	4
		14	2001	1	1	2	4	5
		9	2153	»	»	2	1	6
		9	2010	»	»	3	3	3
Extrait des expériences des 15e. et 16e. tables du deuxième volume.	Obusier de 10 livres. Obus concentriques.	5	536	4	1	»	»	»
		5	810	3	1	1	»	»
		5	1226	»	2	2	1	»
		5	1491	»	1	2	2	»
		5	1594	»	»	4	1	»
		5	2024	1	»	1	»	3
		5	2400	1	»	»	3	1
		5	2527	1	»	2	1	1
		5	2676	»	1	1	1	2
		5	2633	»	1	»	2	2
		5	455	4	1	»	»	»
		5	743	3	2	»	»	»
		5	1109	2	1	2	»	»
		5	1308	2	2	1	»	»
		5	1652	»	1	4	»	»
		5	1969	1	»	2	2	»
		5	2151	2	»	1	»	»
		5	2270	»	»	»	5	2
		5	2450	1	»	1	1	»
		5	2584	»	»	1	4	2
Extrait des expériences des tables 69 à 76.	Obusier de 7 livres. Obus concentriques.	15	1637	3	1	4	1	6
		9	2049	»	»	1	4	4
		10	2370	»	2	1	1	7
		10	1971	»	»	3	4	3
		10	1339	2	1	5	2	»
		10	1816	»	2	3	2	3
		10	1241	2	3	2	3	»

§ 196.

Déviations latérales moyennes des coups de plein fouet, prises sur 10 *coups* (1).

CALIBRE.	Portée moyenne en pas.	Déviation latérale moyenne des boulets, en pas.	
		A droite.	A gauche.
Canon de 3.	1335	13	14
	1561	25	20
	1818	39	40
Canon de 6 léger.	1235	13	2 ½
	1660	14	3
	1853	21	38
Canon de 6 pesant.	1286	9	9 ½
	1537	23	10
	1692	18	31
Canon de 12 ordinaire.	1071	3	5
	1496	6	9
	1970	1	23
Canon de 12 dit *grondeur*.	992	4 ½	6
	1450	9	3
	1986	10	28

On peut conclure de ce tableau,

1°. Que les déviations latérales, à égalité de portées, sont beaucoup plus considérables dans les petits calibres que dans les gros;

2°. Que les déviations latérales augmentent dans un bien plus grand rapport que les portées,

(1) *Voyez* tab. 13 à 18.

et qu'en conséquence elles sont proportionnellement plus grandes dans les grandes portées que dans les petites. Ainsi à 1818 pas, la déviation latérale dans le canon de 3 est presque trois fois plus grande qu'à 1335 pas.

Dans le canon de 12, dit *grondeur*, la déviation latérale est presque quatre fois plus grande à 1986 pas qu'à 992. Ici, par conséquent, une portée double a donné une déviation quadruple.

Il suit de ce qui a été dit ci-dessus, 1°. que les petits boulets s'écartent plus de leur direction primitive que les gros, peut-être parce qu'ils sont d'une forme moins régulière, et qu'ils ont plus de surface que les gros, proportionnellement à leur poids.

2°. Que les boulets s'écartent peu à peu de leur première direction, et décrivent une ligne courbe, dont la convexité est tournée vers le prolongement de l'axe de l'âme, §§ 191 et 192.

§ 197.

De la probabilité de toucher en tirant sur des objets verticaux.

1°. Dans une première expérience, qui d'ailleurs n'a pas été faite avec beaucoup de soin (1),

(1) Tab. 31.

en tirant contre un panneau de 12 pieds de longueur sur 10 pieds de hauteur, le nombre des boulets qui touchèrent a été,

A 400 pas d'environ	$\frac{2}{[illegible]}$	du nombre total des boulets tirés.
600	$\frac{1}{[illegible]}$	
800	[illegible]	

Il faut pourtant remarquer que les canons de 12, avec lesquels on a tiré à 800 pas, avaient l'âme très-endommagée.

2°. Dans une autre expérience qui a été faite avec beaucoup de soin, sur 74 coups tirés avec la pièce de 12, 40 boulets ont touché le panneau, qui avait 24 pieds de longueur sur 10 pieds de hauteur, et qui était placé à la distance de 900 pas.

Dans une longueur de 12 pieds, prise de part et d'autre de la ligne milieu, il se trouvait 27 coups (un tiers du nombre total, où à peu près deux tiers du nombre des boulets qui avaient touché); et dans une longueur de 6 pieds, prise également au milieu du panneau, il y avait 11 boulets ($\frac{1}{7}$ du nombre total).

§ 198.

3°. Le tableau suivant est le résultat d'expériences faites avec soin (1).

(1) Tab. 63.

Des expériences spéciales sur la déviation des projectiles pleins et creux, prouvent incontestablement,

1°. Que les bombes excentriques (celles qui ont un surcroît d'épaisseur à la partie opposée à l'œil), ont une bien plus grande déviation de l'axe de l'âme, que les bombes concentriques (celles dont les parois sont partout d'une même épaisseur);

2°. Que les boulets qui sont de la même grosseur que ces bombes dévient encore moins de l'axe de la pièce que les bombes concentriques (1).

D'après ces expériences, les plus grandes déviations ont été

Sur	Dans les bombes d'une épaisseur inégale.	Sur	Dans les bombes d'une épaisseur égale.	Sur	Dans les boulets qui étaient à peu près du même diamètre que les bombes.
925 pas.	74 pas.	918 pas.	18 pas.	768 pas.	8 pas.
581	27	820	20	420	7
		542	11		

Il est évident que le centre de figure et le centre de gravité sont bien plus différens dans les bombes excentriques que dans les concentri-

---

(1) *Voyez* tab. 49, 50 et 51 du 2ᵉ. vol.

ques, et plus différens dans celles-ci que dans les boulets massifs.

On trouvera au § 195 d'autres expériences et observations qui répandent de la lumière sur cet objet.

Il y a encore beaucoup d'autres causes auxquelles on attribue les *faux coups*; mais l'expérience semble prouver que le vent des boulets et la résistance de l'air, à l'égard des boulets qui ne sont pas tout-à-fait réguliers, doivent être regardés comme les causes principales des faux coups, si, d'ailleurs, le pointage est juste.

§ 193.

Différence des portées sous un même angle et avec une même charge.

1°. La différence qu'on remarque entre les portées obtenues, lorsque les circonstances sont entièrement égales, est ordinairement plus faible dans un petit nombre de coups que dans un grand, parce que c'est dans ce dernier cas que se rencontrent plutôt les déviations fortuites.

2°. Les plus grandes différences qui aient eu lieu entre les portées particulières, dans seize expériences de 6 coups chacune, faites avec des canons de 6 et de 3, c'est-à-dire la différence entre les plus grand[illegible] et les plus petites portées de 6 coups, ont été pour le canon de 6 :

Dans 2 expériences, de plus de 500 pas.
2 de 350 à 500 pas.
9 de 200 à 350
Et dans les 3 autres expériences de moins de 200 pas (1).

Pour le canon de 3, où le vent était plus petit, les plus grandes différences des coups particuliers ont été aussi plus petites. Sur seize expériences de 6 coups chacune, il n'en est qu'une seule où la différence ait été de plus de 500 pas.

Dans 3 expériences, elle a été entre 350 et 400 pas.
4 entre 200 et 350
Et dans les autres de moins de 200 pas.

Ainsi, pour les canons tant de 6 que de 3, les plus grandes différences ont été, dans le quart environ du nombre des expériences, de plus de 350 pas.

3°. Dans diverses expériences de 5 coups chacune, faites avec un canon de 4 français, les différences des coups particuliers s'élèvent pour 0 degré jusqu'à 276 pas, sous l'angle de 3 degrés jusqu'à 562, et sous l'angle de 6 degrés jusqu'à 872 pas (2).

4°. Dans dix-huit autres expériences, de 10 coups chacune, on remarque les résultats suivans (3):

(1) *Voyez* 12e. tab., 2e. vol.
(2) Tab. 8e., 2e. vol.
(3) Tab. 13 à 18, 3e. vol.

Dans 2 expériences, la différence est de plus de 800 pas.
5 entre 505 et 647 pas.
5 entre 350 et 495
6 entre 185 et 333

En ne comptant même pas les deux premières différences, celles qui sont de plus de 800 pas, la différence des coups particuliers des $\frac{2}{3}$ environ du nombre des expériences est encore de plus de 350 pas.

5°. Dans les obusiers, les différences des portées avec la charge ordinaire sont beaucoup plus considérables que dans les canons.

Dans cinq expériences faites avec l'obusier de 7 *livres stein*, et dont les quatre premières furent de 9 coups chacune et la dernière de 15 coups, les différences sur 2,000 pas furent de 860, 980, 1,060, 730 et 1,000 pas (1).

Avec 1 $\frac{3}{4}$ livre de charge, sur 10 coups tirés sous les angles de 4, 5, 9, 10 et 15 degrés, les différences entre les plus grandes et les plus petites portées sont de 688, 791, 662, 675 et 700 pas (2).

En comparant ces différences avec celles qui ont été observées dans les canons, et que nous avons rapportées ci-dessus, on se convaincra que les canons présentent incontestablement de plus petites différences que les obusiers, et que le rapport est à peu près celui de 5 à 7.

(1) Tab. 23, 3ᵉ. vol.
(2) Tab. 68.

Il est vrai que les différences observées sur 5 coups, dans l'obusier de 10 *livres stein* (1), ne sont pas plus considérables que celles des canons de 6 et de 3 dans la 12e. table du deuxième volume, ou que celle des canons de 4 dans la 8e. table du même volume. Mais cette égalité entre les différences n'a lieu que dans les petites portées, où les canons tirent à charge ordinaire, sous de petits angles, et les obusiers sous des angles élevés avec une petite charge. Aussitôt que les uns et les autres tirent avec les charges ordinaires, on voit que les canons présentent, toutes circonstances égales, de plus petites différences de portées que les obusiers.

Ainsi, dans le tir à grandes distances, les différences de portées de l'obusier de 10 livres, sur 2,500 à 2,600 pas, ont été de 848, 660, 474, 964, 1,027 (2); et toutes ces différences sont bien plus considérables que celles qui ont eu lieu dans les canons sur des portées aussi grandes (sous l'angle de 6 degrés), et qui sont de 872, 312, 350, 215, 772 et 487 pas.

Les différences des portées de l'obusier de 7 livres (3) sont extrêmement considérables; pour 9 coups, elles ont été, sur 500 à 600 pas, de 213,

(1) Tab. 15 et 16, 2e. vol.
(2) *Ibidem.*
(3) Tab. 6 à 9, 3e. vol.

529, 499, 174, 256; sur 1,000 pas, de 847, 803, 625, 844; et sur 1,500 pas, de 640; 1,275, 1,748, 1,433, 1,219 pas.

Ces grandes différences sont produites en partie par l'inégalité d'épaisseur des parois des obus. On a remarqué en effet, que les obusiers de 7 livres donnent de bien plus grandes différences que les obusiers de 10 livres, parce que, dans ces derniers, les parois des obus sont proportionnellement plus épaisses, et que ces obus diffèrent moins des boulets massifs; en effet l'obus de 7 *livres stein* pèse 14 livres, et l'obus de 10 *livres stein* pèse de 25 à 27 livres. Conséquemment le vide intérieur est beaucoup plus petit, proportion gardée, dans le dernier que dans le premier.

§ 194.

Déviation latérale des coups de plein fouet.

1°. Déviations latérales depuis 400 jusqu'à 800 pas.

La déviation latérale des boulets, pour les coups de plein fouet, a été, dans une première série d'expériences (1),

(1) Tab. 63, 3ᵉ. vol.

	Pour la moitié du nombre des coups.	Pour le nombre total des coups.
A 400 pas en 47 coups.	$5\frac{1}{2}$ pieds.	$21\frac{1}{2}$ pieds.
608 48	$7\frac{1}{2}$	22

La déviation des obus a été (1),

A 535 pas en 12 coups.	9 pas.	18 pas.
831 14	$9\frac{1}{2}$	20
A 4 ou 500 pas en 10 coups.	6 pas.	12 pas.
7 ou 800 10	9	37

D'après d'autres expériences, la déviation des boulets est ordinairement plus petite. Ainsi, dans celles qui sont rapportées au 4e. tableau du 2e. volume, la plus grande déviation latérale du canon de 12, sur 5 à 600 pas, est d'environ 2 pas, pour la moitié du nombre des coups; et de 6 pas, pour le nombre total des coups. A 800 pas, la déviation n'est pas beaucoup plus considérable, excepté dans deux coups, dont l'un a une déviation de 15 pas.

Les plus grandes déviations des boulets de 12, dans le 5e. tableau du deuxième volume, et des boulets de 6 dans le 6e. tableau, s'accordent jusqu'à un certain point avec celles que nous venons de rapporter; mais celles des boulets de 3 dans le 7e. tableau sont plus considérables. D'après ce tableau, les plus grandes déviations du canon de

(1) Tab. 15, 16 et 51, 2e. vol.

3, sur 600 à 700 pas, sont de 3 pas pour la moitié du nombre des coups, et de 12 pas pour le nombre total des coups; mais il y a un coup dont la déviation a été de 31 pas (1).

2°. Déviations latérales dans des portées de 1,200 à 2000 pas.

Dans une série d'expériences (2), les plus grandes déviations du canon de 12, sur 1,600 à 1,800 pas, n'ont pas été de plus de 12 pas pour la moitié du nombre des coups, ni de plus de 30 pas pour le nombre total. Il faut en excepter un coup, dont la déviation a été de 88 pas.

La déviation du canon de 6 a été plus considérable, peut-être parce que le vent était plus grand.

La moitié des boulets de la pièce de 3 n'ont pas dévié sur 1,300 à 1,400 pas, de plus de 12 pas; mais les plus grandes déviations du nombre total

(1) C'est une chose très-surprenante que la déviation latérale ait été plus considérable dans le canon de 3 que dans le canon de 6, quoique ce dernier eût un vent plus grand et une plus grande différence entre ses portées. Voyez le 12e. tableau du deuxième volume. Dans les expériences prussiennes, le canon de 3 a eu pareillement la déviation la plus considérable. Voyez l'explication des tableaux 13 à 18.

(2) Tab. 4, 5, 6 et 7, 2e. vol.

des coups vont jusqu'à 56 pas, en mettant hors de compte un coup dont la déviation est de 74 pas.

Les résultats consignés dans le tableau qui suit, tirés d'expériences prussiennes, diffèrent un peu de ceux qu'on vient d'exposer.

Dans ce tableau, les déviations des obusiers, quand on emploie de fortes charges, sont deux à trois fois plus grandes que celles des canons.

§ 195.

Déviations latérales des coups de plein fouet.

	CALIBRE.	Nombre des coups.	Distance en pas.	NOMBRE DES COUPS dont la déviation n'est pas de plus de 10 (Pas.)	10 à 25 (Pas.)	25 à 50 (Pas.)	50 à 100 (Pas.)	Déviation de plus de 100 pas.
Extrait des expériences des tables 13 à 18.	Canon de 3	10	1200	5	5	»	»	»
		10	1500	»	7	3	»	»
		9	1800	»	2	4	3	»
	Canon de 6 léger	10	1200	5	5	»	»	»
		10	1500	6	3	1	»	»
		10	1800	3	»	4	3	»
	Canon de 6 pesant	10	1200	6	4	»	»	»
		10	1500	4	3	2	1	»
		10	1800	1	4	4	1	»
	Canon de 12 ordinaire	10	1000	9	1	»	»	»
		10	1500	9	1	»	»	»
		10	2000	1	5	3	1	»
	Canon de 12 dit *grondeur*	10	1000	9	1	»	»	»
		10	1500	7	3	»	»	»
		10	2000	2	2	6	»	»
Extrait des expériences des tables 6 à 9.	Obusier de 7 livres stein. Obus excentriques	9	494	5	4	»	»	»
		9	1213	3	1	3	2	»
		9	1686	»	2	2	3	2
		9	425	8	1	»	»	»
		9	1015	3	»	3	»	3
		9	1596	»	1	1	5	2
		9	611	5	2	2	»	»
		9	1072	1	3	3	2	1
		9	1776	»	2	3	2	2
		9	400	8	1	»	»	»
		9	998	»	6	2	1	»
		9	1660	»	»	2	3	4
		9	604	4	3	2	»	»
		9	1326	»	1	3	2	3
		9	1558	»	2	1	5	1

CALIBRE.		Nombre de coups.	Distance en pas.	NOMBRE DES COUPS dont la déviation n'est pas de plus de				Déviation de plus de 100 pas.
				à 10	10 à 25	25 à 50	50 à 100	
				Pas.				
Extrait des expériences de la 13e. table.	Obusier de 7 livres. Obus concentriques.	9	2091	»	»	1	2	6
		9	2180	»	2	»	3	4
		14	2001	1	1	2	4	5
		9	2153	»	»	2	1	6
		9	2010	»	»	3	3	3
Extrait des expériences des 15e. et 16e. tables du deuxième volume.	Obusier de 10 livres. Obus concentriques.	5	536	4	1	»	»	»
		5	810	3	1	1	»	»
		5	1226	»	2	2	1	»
		5	1491	»	1	2	2	»
		5	1594	»	»	4	1	»
		5	2024	1	»	1	»	3
		5	2400	1	»	»	3	1
		5	2527	1	»	2	1	1
		5	2676	»	1	1	1	2
		5	2633	»	1	»	2	2
		5	455	4	1	»	»	»
		5	743	3	2	»	»	»
		5	1109	2	1	2	»	»
		5	1308	3	2	1	»	»
		5	1652	»	1	4	»	»
		5	1969	1	»	2	2	»
		5	2151	2	»	1	»	2
		5	2270	»	»	»	5	»
		5	2450	1	»	1	1	2
		5	2584	»	»	1	4	»
Extrait des expériences des tables 6e. à 9e.	Obusier de 7 livres. Obus concentriques.	15	1637	3	1	4	1	6
		9	2049	»	»	1	4	4
		10	2370	»	2	1	1	7
		10	1971	»	»	3	4	3
		10	1339	2	1	5	2	»
		10	1816	»	2	3	2	3
		10	1241	2	3	2	3	»

§ 196.

Déviations latérales moyennes des coups de plein fouet, prises sur 10 *coups* (1).

CALIBRE.	Portée moyenne en pas.	Déviation latérale moyenne des boulets, en pas.	
		A droite.	A gauche.
Canon de 3.	1335	13	14
	1561	25	20
	1818	39	40
Canon de 6 léger.	1235	13	2 ½
	1660	14	3
	1853	21	38
Canon de 6 pesant.	1286	9	9 ½
	1537	23	10
	1692	18	31
Canon de 12 ordinaire.	1071	3	5
	1496	6	9
	1970	»	23
Canon de 12 dit *grondeur*.	992	4 ½	6
	1450	9	3
	1986	10	28

On peut conclure de ce tableau,

1°. Que les déviations latérales, à égalité de portées, sont beaucoup plus considérables dans les petits calibres que dans les gros;

2°. Que les déviations latérales augmentent dans un bien plus grand rapport que les portées,

---

(1) *Voyez* tab. 13 à 18.

et qu'en conséquence elles sont proportionnellement plus grandes dans les grandes portées que dans les petites. Ainsi à 1818 pas, la déviation latérale dans le canon de 3 est presque trois fois plus grande qu'à 1335 pas.

Dans le canon de 12, dit *grondeur*, la déviation latérale est presque quatre fois plus grande à 1986 pas qu'à 992. Ici, par conséquent, une portée double a donné une déviation quadruple.

Il suit de ce qui a été dit ci-dessus, 1°. que les petits boulets s'écartent plus de leur direction primitive que les gros, peut-être parce qu'ils sont d'une forme moins régulière, et qu'ils ont plus de surface que les gros, proportionnellement à leur poids.

2°. Que les boulets s'écartent peu à peu de leur première direction, et décrivent une ligne courbe, dont la convexité est tournée vers le prolongement de l'axe de l'âme, §§ 191 et 192.

§ 197.

De la probabilité de toucher en tirant sur des objets verticaux.

1°. Dans une première expérience, qui d'ailleurs n'a pas été faite avec beaucoup de soin (1),

(1) Tab. 31.

en tirant contre un panneau de 12 pieds de longueur sur 10 pieds de hauteur, le nombre des boulets qui touchèrent a été,

A 400 pas d'environ	$\frac{2}{5}$	du nombre total des boulets tirés.
600	$\frac{1}{4}$	
800	$\frac{1}{7}$	

Il faut pourtant remarquer que les canons de 12, avec lesquels on a tiré à 800 pas, avaient l'âme très-endommagée.

2°. Dans une autre expérience qui a été faite avec beaucoup de soin, sur 74 coups tirés avec la pièce de 12, 40 boulets ont touché le panneau, qui avait 24 pieds de longueur sur 10 pieds de hauteur, et qui était placé à la distance de 900 pas.

Dans une longueur de 12 pieds, prise de part et d'autre de la ligne milieu, il se trouvait 27 coups (un tiers du nombre total, ou à peu près deux tiers du nombre des boulets qui avaient touché); et dans une longueur de 6 pieds, prise également au milieu du panneau, il y avait 11 boulets ($\frac{1}{7}$ du nombre total).

§ 198.

3°. Le tableau suivant est le résultat d'expériences faites avec soin (1).

(1) Tab. 63.

Sur 15 coups, le nombre des boulets qui touchèrent fut de :

A 400 pas.

	Dans une surface de 10 pieds de haut, et 12 pieds de longueur.	Dans un panneau de 10 pieds de haut et 54 pieds de longueur.	OBSERVATIONS.
	Boulets.	Boulets.	
Canon de 3	2	7	Ainsi la moitié environ du nombre total des coups, toucha la petite surface, et le panneau entier fut touché par les 5/6 du nombre des boulets tirés.
6	7	12	
12	8	13	
24	11	15	
Sur 60 coups	28	47	

A 600 pas.

Canon de 3	1	5	La petite surface fut touchée par le tiers, et le panneau entier par la moitié du nombre des boulets tirés.
6	6	7	
12	2	5	
24	14	14	
Sur 60 coups	21	31	

Sur 20 coups, le nombre des boulets qui touchèrent fut de :

A 800 pas.

Canon de 3	4	11	La petite surface fut touchée par le 1/6, et le panneau entier par le 1/3 du nombre des boulets tirés.
6	5	7	
12	3	6	
24	2	4	
Sur 80 coups	14	28	

§ 199.

4°. Dans d'autres expériences (1), l'effet obtenu fut encore plus considérable que dans celles qu'on vient de rapporter. Le nombre des boulets qui touchèrent un panneau de 6 pieds de hauteur fut :

A 257 pas la totalité		
514	$\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{4}$	du nombre des boulets tirés.
685	$\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{5}$	
857	$\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{7}$	
1114	$\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{9}$	

Si la déviation horizontale était égale à la déviation verticale, le nombre des boulets qui auraient donné dans un carré de 6 pieds serait :

A 514 pas de	$\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{5}$	du nombre total des boulets tirés.
685	[illegible]	
857	$\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{10}$	

§ 200.

En comparant les effets qui sont exposés dans dans les trois derniers §§ (197 à 199), et dans le 31e. tableau, on voit que les circonstances particulières ont une très-grande influence sur la probabilité de toucher.

L'effet dont il est parlé au § 197, n°. 2, et au § 199, est celui que l'on n'obtient que dans les circonstances les plus favorables ; celui qui est rapporté au § 198 est l'effet ordinaire ; et celui qu'on trouve dans le 31e. tableau est l'effet qu'on peut espérer d'obtenir, même dans des

(1) Tab. 32.

Dans 2 expériences, de plus de 500 pas.
2 de 350 à 500 pas.
9 de 200 à 350
Et dans les 3 autres expériences de moins de 200 pas (1).

Pour le canon de 3, où le vent était plus petit, les plus grandes différences des coups particuliers ont été aussi plus petites. Sur seize expériences de 6 coups chacune, il n'en est qu'une seule où la différence ait été de plus de 500 pas.

Dans 3 expériences, elle a été entre 350 et 600 pas.
4 entre 200 et 350
Et dans les autres de moins de 200 pas.

Ainsi, pour les canons tant de 6 que de 3, les plus grandes différences ont été, dans le quart environ du nombre des expériences, de plus de 350 pas.

3°. Dans diverses expériences de 5 coups chacune, faites avec un canon de 4 français, les différences des coups particuliers s'élèvent pour 0 degré jusqu'à 276 pas, sous l'angle de 3 degrés jusqu'à 562, et sous l'angle de 6 degrés jusqu'à 872 pas (2).

4°. Dans dix-huit autres expériences, de 10 coups chacune, on remarque les résultats suivans (3) :

(1) *Voyez* 12e. tab., 2e. vol.
(2) Tab. 8e., 2e. vol.
(3) Tab. 13 à 18, 3e. vol.

Dans 2 expériences, la différence est de plus de 800 pas.
5 . . . . entre 505 et 647 pas.
5 . . . . entre 350 et 495
6 . . . . entre 185 et 335

En ne comptant même pas les deux premières différences, celles qui sont de plus de 800 pas, la différence des coups particuliers des $\frac{4}{5}$ environ du nombre des expériences est encore de plus de 350 pas.

5°. Dans les obusiers, les différences des portées avec la charge ordinaire sont beaucoup plus considérables que dans les canons.

Dans cinq expériences faites avec l'obusier de 7 *livres stein*, et dont les quatre premières furent de 9 coups chacune et la dernière de 15 coups, les différences sur 2,000 pas furent de 860, 980, 1,060, 730 et 1,000 pas (1).

Avec 1 $\frac{3}{4}$ livre de charge, sur 10 coups tirés sous les angles de 4, 5, 9, 10 et 15 degrés, les différences entre les plus grandes et les plus petites portées sont de 688, 791, 662, 675 et 700 pas (2).

En comparant ces différences avec celles qui ont été observées dans les canons, et que nous avons rapportées ci-dessus, on se convaincra que les canons présentent incontestablement de plus petites différences que les obusiers, et que le rapport est à peu près celui de 5 à 7.

(1) Tab. 23, 3e. vol.
(2) Tab. 68.

Il est vrai que les différences observées sur 5 coups, dans l'obusier de 10 *livres stein* (1), ne sont pas plus considérables que celles des canons de 6 et de 3 dans la 12°. table du deuxième volume, ou que celle des canons de 4 dans la 8°. table du même volume. Mais cette égalité entre les différences n'a lieu que dans les petites portées, où les canons tirent à charge ordinaire sous de petits angles, et les obusiers sous des angles élevés avec une petite charge. Aussitôt que les uns et les autres tirent avec les charges ordinaires, on voit que les canons présentent, toutes circonstances égales, de plus petites différences de portées que les obusiers.

Ainsi, dans le tir à grandes distances, les différences de portées de l'obusier de 10 livres, sur 2,500 à 2,600 pas, ont été de 848, 660, 474, 964, 1,027 (2); et toutes ces différences sont bien plus considérables que celles qui ont eu lieu dans les canons sur des portées aussi grandes (sous l'angle de 6 degrés), et qui sont de 872, 312, 350, 215, 772 et 487 pas.

Les différences des portées de l'obusier de 7 livres (3) sont extrêmement considérables ; pour 9 coups, elles ont été, sur 500 à 600 pas, de 213,

(1) Tab. 15 et 16, 2°. vol.

(2) *Ibidem*.

(3) Tab. 6 à 9, 3°. vol.

529, 499, 174, 256; sur 1,000 pas, de 847, 803, 625, 844; et sur 1,500 pas, de 640, 1,275, 1,748, 1,433, 1,219 pas.

Ces grandes différences sont produites en partie par l'inégalité d'épaisseur des parois des obus. On a remarqué en effet, que les obusiers de 7 livres donnent de bien plus grandes différences que les obusiers de 10 livres, parce que, dans ces derniers, les parois des obus sont proportionnellement plus épaisses, et que ces obus diffèrent moins des boulets massifs; en effet l'obus de 7 *livres stein* pèse 14 livres, et l'obus de 10 *livres stein* pèse de 25 à 27 livres. Conséquemment le vide intérieur est beaucoup plus petit, proportion gardée, dans le dernier que dans le premier.

§ 194.

Déviation latérale des coups de plein fouet.

1°. Déviations latérales depuis 400 jusqu'à 800 pas.

La déviation latérale des boulets, pour les coups de plein fouet, a été, dans une première série d'expériences (1),

(1) Tab. 63, 3e. vol.

	Pour la moitié du nombre des coups.	Pour le nombre total des coups.
A 400 pas en 47 coups.	$5\frac{1}{2}$ pieds.	$21\frac{1}{2}$ pieds.
608 48	$7\frac{1}{2}$	22

La déviation des obus a été (1),

A 535 pas en 12 coups	9 pas.	18 pas.
831 11	$9\frac{1}{2}$	20
A 4 ou 500 pas en 10 coups.	6 pas.	12 pas.
7 ou 800 10	9	37

D'après d'autres expériences, la déviation des boulets est ordinairement plus petite. Ainsi, dans celles qui sont rapportées au 4e. tableau du 2e. volume, la plus grande déviation latérale du canon de 12, sur 5 à 600 pas, est d'environ 2 pas, pour la moitié du nombre des coups; et de 6 pas, pour le nombre total des coups. A 800 pas, la déviation n'est pas beaucoup plus considérable, excepté dans deux coups, dont l'un a une déviation de 15 pas.

Les plus grandes déviations des boulets de 12, dans le 5e. tableau du deuxième volume, et des boulets de 6 dans le 6e. tableau, s'accordent jusqu'à un certain point avec celles que nous venons de rapporter; mais celles des boulets de 3 dans le 7e. tableau sont plus considérables. D'après ce tableau, les plus grandes déviations du canon de

(1) Tab. 15, 16 et 51, 2e. vol.

3, sur 600 à 700 pas, sont de 3 pas pour la moitié du nombre des coups, et de 12 pas pour le nombre total des coups; mais il y a un coup dont la déviation a été de 31 pas (1).

2°. Déviations latérales dans des portées de 1,200 à 2000 pas.

Dans une série d'expériences (2), les plus grandes déviations du canon de 12, sur 1,600 à 1,800 pas, n'ont pas été de plus de 12 pas pour la moitié du nombre des coups, ni de plus de 30 pas pour le nombre total. Il faut en excepter un coup, dont la déviation a été de 88 pas.

La déviation du canon de 6 a été plus considérable, peut-être parce que le vent était plus grand.

La moitié des boulets de la pièce de 3 n'ont pas dévié sur 1,300 à 1,400 pas, de plus de 12 pas; mais les plus grandes déviations du nombre total

---

(1) C'est une chose très-surprenante que la déviation latérale ait été plus considérable dans le canon de 3 que dans le canon de 6, quoique ce dernier eût un vent plus grand et une plus grande différence entre ses portées. Voyez le 12e. tableau du deuxième volume. Dans les expériences prussiennes, le canon de 3 a eu pareillement la déviation la plus considérable. Voyez l'explication des tableaux 13 à 18.

(2) Tab. 4, 5, 6 et 7, 2e. vol.

des coups vont jusqu'à 56 pas, en mettant hors de compte un coup dont la déviation est de 74 pas.

Les résultats consignés dans le tableau qui suit, tirés d'expériences prussiennes, diffèrent un peu de ceux qu'on vient d'exposer.

Dans ce tableau, les déviations des obusiers, quand on emploie de fortes charges, sont deux à trois fois plus grandes que celles des canons.

§ 195.

Déviations latérales des coups de plein fouet.

	CALIBRE.	Nombre des coups.	Distance en pas.	NOMBRE DES COUPS dont la déviation n'est pas de plus de 10 (Pas.)	10 à 25	25 à 50	50 à 100	Déviation de plus de 100 pas.
Extrait des expériences des tables 13 à 18.	Canon de 3.	10	1200	5	5	»	»	»
		10	1500	»	7	3	»	»
		9	1800	»	2	4	3	»
	Canon de 6 léger.	10	1200	5	5	»	»	»
		10	1500	6	3	1	»	»
		10	1800	3	»	4	3	»
	Canon de 6 pesant.	10	1200	6	4	»	»	»
		10	1500	4	3	2	1	»
		10	1800	1	4	4	1	»
	Canon de 12 ordinaire.	10	1000	9	1	»	»	»
		10	1500	9	1	»	»	»
		10	2000	1	5	3	1	»
	Canon de 12 dit *grondeur*.	10	1000	9	1	»	»	»
		10	1500	7	3	»	»	»
		10	2000	2	2	6	»	»
Extrait des expériences des tables 6 à 9.	Obusier de 7 livres stein. Obus excentriques.	9	494	5	4	»	»	»
		9	1213	3	1	3	2	»
		9	1686	»	2	2	3	2
		9	425	8	1	»	»	»
		9	1015	3	»	3	»	3
		9	1596	»	1	1	5	2
		9	611	5	2	2	»	»
		9	1072	1	3	3	2	1
		9	1776	»	2	3	2	2
		9	400	8	1	»	»	»
		9	998	»	6	2	1	»
		9	1660	»	»	2	3	4
		9	604	4	3	2	»	»
		9	1326	»	1	3	2	3
		9	1558	»	2	1	5	1

	CALIBRE	Nombre de coups.	Distance en pas.	NOMBRE DES COUPS dont la déviation n'est pas de plus de — 10 (Pas.)	10 à 25 (Pas.)	25 à 50 (Pas.)	50 à 100 (Pas.)	Déviation de plus de 100 pas.
Extrait des expériences de la 13e table.	Obusier de 7 livres. Obus concentriques.	9	2091	»	»	1	2	6
		9	2180	»	2	»	3	4
		14	2001	1	1	2	4	5
		9	2153	»	»	2	1	6
		9	2010	»	»	3	3	3
Extrait des expériences des 15e et 16e tables du deuxième volume.	Obusier de 10 livres. Obus concentriques.	5	536	4	1	»	»	»
		5	810	3	1	1	»	»
		5	1226	»	2	2	1	»
		5	1491	»	1	2	2	»
		5	1594	»	»	4	1	»
		5	2024	1	»	1	»	3
		5	2400	1	»	»	3	1
		5	2527	1	»	2	1	1
		5	2676	»	1	1	1	2
		5	2633	»	1	»	2	2
		5	455	4	1	»	»	»
		5	743	3	2	»	»	»
		5	1109	2	1	2	»	»
		5	1308	2	2	1	»	»
		5	1652	»	1	4	»	»
		5	1969	1	»	2	2	»
		5	2151	2	»	1	»	2
		5	2270	»	»	»	5	»
		5	2450	1	»	1	1	2
		5	2584	»	»	1	4	»
Extrait des expériences des tables 69 à 76.	Obusier de 7 livres. Obus concentriques.	15	1637	3	1	4	1	6
		9	2049	»	»	1	4	4
		10	2370	»	2	1	1	7
		10	1971	»	»	3	4	3
		10	1339	2	1	5	2	»
		10	1816	»	2	3	2	3
		10	1241	2	3	2	3	»

§ 196.

Déviations latérales moyennes des coups de plein fouet, prises sur 10 *coups* (1).

CALIBRE.	Portée moyenne en pas.	Déviation latérale moyenne des boulets, en pas.	
		A droite.	A gauche.
Canon de 3.	1335	13	14
	1561	25	20
	1818	39	40
Canon de 6 léger.	1235	13	2 ½
	1660	14	3
	1853	21	38
Canon de 6 pesant.	1286	9	9 ½
	1537	23	10
	1692	18	31
Canon de 12 ordinaire.	1071	3	5
	1496	6	9
	1970	1	23
Canon de 12 dit *grondeur*.	992	4 ½	6
	1450	9	3
	1986	10	28

On peut conclure de ce tableau,

1°. Que les déviations latérales, à égalité de portées, sont beaucoup plus considérables dans les petits calibres que dans les gros;

2°. Que les déviations latérales augmentent dans un bien plus grand rapport que les portées,

(1) *Voyez* tab. 13 à 18.

et qu'en conséquence elles sont proportionnellement plus grandes dans les grandes portées que dans les petites. Ainsi à 1818 pas, la déviation latérale dans le canon de 3 est presque trois fois plus grande qu'à 1335 pas.

Dans le canon de 12, dit *grondeur*, la déviation latérale est presque quatre fois plus grande à 1986 pas qu'à 992. Ici, par conséquent, une portée double a donné une déviation quadruple.

Il suit de ce qui a été dit ci-dessus, 1°. que les petits boulets s'écartent plus de leur direction primitive que les gros, peut-être parce qu'ils sont d'une forme moins régulière, et qu'ils ont plus de surface que les gros, proportionnellement à leur poids.

2°. Que les boulets s'écartent peu à peu de leur première direction, et décrivent une ligne courbe, dont la convexité est tournée vers le prolongement de l'axe de l'âme, §§ 191 et 192.

§ 197.

De la probabilité de toucher en tirant sur des objets verticaux.

1°. Dans une première expérience, qui d'ailleurs n'a pas été faite avec beaucoup de soin (1),

(1) Tab. 31.

en tirant contre un panneau de 12 pieds de longueur sur 10 pieds de hauteur, le nombre des boulets qui touchèrent a été,

A 400 pas d'environ	2/[illegible]	du nombre total des boulets tirés.
600	$\frac{1}{7}$	
800	$\frac{1}{9}$	

Il faut pourtant remarquer que les canons de 12, avec lesquels on a tiré à 800 pas, avaient l'âme très-endommagée.

2°. Dans une autre expérience qui a été faite avec beaucoup de soin, sur 74 coups tirés avec la pièce de 12, 40 boulets ont touché le panneau, qui avait 24 pieds de longueur sur 10 pieds de hauteur, et qui était placé à la distance de 900 pas.

Dans une longueur de 12 pieds, prise de part et d'autre de la ligne milieu, il se trouvait 27 coups (un tiers du nombre total, ou à peu près deux tiers du nombre des boulets qui avaient touché); et dans une longueur de 6 pieds, prise également au milieu du panneau, il y avait 11 boulets ($\frac{1}{7}$ du nombre total).

§ 198.

3°. Le tableau suivant est le résultat d'expériences faites avec soin (1).

---

(1) Tab. 63.

Sur 15 coups, le nombre des boulets qui touchèrent fut de :

A 400 pas.

	Dans une surface de 10 pieds de haut, et 12 pieds de longueur.	Dans un panneau de 10 pieds de haut et 54 pieds de longueur.	OBSERVATIONS.
	Boulets.	Boulets.	
Canon de 3	2	2	Ainsi la moitié environ du nombre total des coups, toucha la petite surface, et le panneau entier fut touché par les 5/6 du nombre des boulets tirés.
6	7	12	
12	8	13	
24	11	15	
Sur 60 coups	28	47	

A 600 pas.

Canon de 3	1	5	La petite surface fut touchée par le tiers, et le panneau entier par la moitié du nombre des boulets tirés.
6	6	7	
12	2	5	
24	14	14	
Sur 60 coups	21	31	

Sur 20 coups, le nombre des boulets qui touchèrent fut de :

A 800 pas.

Canon de 3	4	11	La petite surface fut touchée par le 1/6, et le panneau entier par le 1/3 du nombre des boulets tirés.
6	5	7	
12	3	6	
24	2	4	
Sur 80 coups	14	28	

§ 199.

4°. Dans d'autres expériences (1), l'effet obtenu fut encore plus considérable que dans celles qu'on vient de rapporter. Le nombre des boulets qui touchèrent un panneau de 6 pieds de hauteur fut :

A 257 pas la totalité		du nombre des boulets tirés.
514	[illegible] à [illegible]	
685	[illegible] à [illegible]	
857	[illegible] à [illegible]	
1114	[illegible] à [illegible]	

Si la déviation horizontale était égale à la déviation verticale, le nombre des boulets qui auraient donné dans un carré de 6 pieds serait :

A 514 pas de	[illegible] à [illegible]	du nombre total des boulets tirés.
685	[illegible] à [illegible]	
857	[illegible] à [illegible]	

§ 200.

En comparant les effets qui sont exposés dans dans les trois derniers §§ (197 à 199), et dans le 31°. tableau, on voit que les circonstances particulières ont une très-grande influence sur la probabilité de toucher.

L'effet dont il est parlé au § 197, n°. 2, et au § 199, est celui que l'on n'obtient que dans les circonstances les plus favorables ; celui qui est rapporté au § 198 est l'effet ordinaire ; et celui qu'on trouve dans le 31°. tableau est l'effet qu'on peut espérer d'obtenir, même dans des

(1) Tab. 32.

circonstances désavantageuses. Souvent des causes inexplicables exercent une grande influence. Dans les expériences du § 198, par exemple, les coups de la pièce de 3 ont été plus mauvais à 400 et à 600 pas, et meilleurs à 800 pas que ceux des autres calibres. On pourrait être porté à expliquer cette grande différence, en supposant qu'on n'a pas donné au canon de 3 les degrés d'élévation qui conviennent aux distances de 400 et 600 pas. Mais comme ces expériences ont été faites par des hommes qui connaissaient les portées de chaque pièce et les hausses convenables, et qui opérèrent avec beaucoup de soin, il est absolument impossible que ces fautes aient eu lieu, ou du moins il n'a été commis que celles qui sont inévitables dans de telles circonstances.

CHAPITRE IV.

DES COUPS ROULANS (1).

§ 201.

I. *Portées entières.*

D'après les expériences faites en Hanovre sur les *coups roulans* (2), il paraît que les portées de ces coups (ou portées entières), depuis un

(1) L'auteur désigne sous le nom de *coups roulans*, les coups à ricochet tirés sous de petits angles à charge pleine.

(2) *Voyez* tab. 4, 11 et 12, § 173.

jusqu'à quatre degrés d'élévation, sont à peu près égales.

Mais, dans d'autres expériences faites en Prusse (1), la portée entière a généralement augmenté avec les degrés d'élévation, comme on le voit par la table suivante :

Portée entière, moyenne prise sur 10 coups.

Canon de 3, avec 1 $\frac{1}{4}$ livre de poudre, sous l'angle de.	1 $\frac{1}{4}$ degré	1657 pas.
	3	1887
	6	2001
Canon de 6 léger avec 2 $\frac{3}{4}$ livre de poudre, sous l'angle de.	but en blanc	1983 pas.
	2 $\frac{1}{2}$ degrés	2065
	5	2319
Canon de 6 pesant avec 3 livres de poudre, sous l'angle de.	but en blanc	2071 pas
	2 $\frac{1}{4}$ degrés	2184
	3 $\frac{1}{2}$	2315
Canon de 12 ordinaire, avec 4 livres de poudre, sous l'angle de.	1 $\frac{1}{2}$ degrés	2390 pas.
	3 $\frac{1}{4}$	2590
	5	2519
Canon de 12 pesant, avec 5 livres de poudre, sous l'angle de.	1 $\frac{1}{4}$ degrés	2401 pas.
	4	2668

Dans les expériences de Hanovre, ainsi qu'on l'a dit plus haut, la portée entière n'a pas augmenté avec les degrés d'élévation; en prenant la portée moyenne de 24 coups, elle est :

Dans le canon de 3.	Avec 1 $\frac{1}{4}$ livre de poudre, sous l'angle de.	1 degré. de	1542 pas.
		4	1517
	Avec 1 $\frac{1}{2}$ livre de poudre, sous l'angle de.	1	1645
		4	1564
Dans le canon de 12	Avec 4 livres de poudre, sous l'angle de.	1	2325
		4	2207
	Avec 5 livres de poudre, sous l'angle de.	1	2473
		4	2114

(1) Tab. 13 à 18.

La différence des terrains sur lesquels furent faites les expériences prussiennes et hanovriennes peut seule expliquer la différence des résultats. Les expériences prussiennes eurent lieu sur un terrain assez dur et assez uni; celles de Hanovre sur un terrain en partie sablonneux, en partie marécageux : de là vient que, sous certains angles, les boulets s'enfonçaient plus profondément, à chaque chute, que dans les expériences de Prusse. Cette différence d'enfoncement des boulets dans les deux espèces de terrains n'était pas si considérable sous l'angle de 1 degré que sous les angles de plusieurs degrés; c'est pourquoi, les portées entières n'augmentèrent pas avec les angles de tir sur le terrain mou comme cela eut lieu sur le terrain dur, et même elles diminuèrent sous l'angle de 4 degrés.

Il résulte de ces expériences :

1°. Que, sur un terrain dur, les portées entières augmentent avec les degrés d'élévation;

2°. Que cette augmentation n'a pas lieu sur un terrain mou, et que la portée entière est à peu près aussi grande sous l'angle de 1 degré que sous les angles supérieurs, jusqu'à celui de 4 degrés inclusivement;

3°. Que les portées entières, sur un terrain dur et sur un terrain mou, ne sont pas très-différentes sous l'angle de 1 degré, et que sous l'angle de 4 degrés, elles sont de 300 à 400 pas

plus grandes sur le terrain dur que sur le terrain mou.

La portée entière de l'obusier de 7 livres est presque la même sous tous les angles, depuis 2 jusqu'à 8 degrés, savoir de 1800 à 1900 pas; et ces résultats sont confirmés par des expériences faites à Breslau en 1812. Cependant la portée entière de 1800 pas semble, dans ces expériences, n'avoir eu lieu que sous l'angle de 4 à 5 degrés (1).

D'autres expériences donnent des résultats qui varient plus ou moins. Dans quelques-unes, les portées totales de l'obusier de 7 livres et de celui de 10 livres sont d'autant plus grandes, que l'angle est plus élevé. Dans d'autres, elles sont presque les mêmes sous tous les angles. Ces contradictions apparentes ne peuvent s'expliquer que par la différence de la nature du terrain plus ou moins favorable au ricochet, et par d'autres circonstances locales (2).

---

(1) Tab. 22, n°. 6. — Tab. 49 et 51, 2e. vol. — Tab. 68 et 69.

(2) Tab. 1er. et 2, § 168. — Tab. 22, 3e. vol. — Tab. 49 à 51, 3e. vol. — § 167. — Tab. 14, 2e. vol.

§ 202.

D'après diverses séries d'expériences (1), on peut établir, relativement à l'effet des coups roulans, les propositions suivantes :

1°. Que sur un terrain dur et uni, le premier ricochet est beaucoup plus grand qu'aucun des autres, que le second ricochet est à peu près moitié moins grand que le premier, le troisième moitié moins grand que le second, et ainsi de suite.

2°. Que le premier ricochet est plus considérable sous un petit angle de tir que sous un grand ;

3°. Que le premier bond ou ricochet est d'une telle hauteur, qu'il reste entre la première et la seconde chute un espace considérable, dans lequel le boulet se trouve assez éloigné de la terre pour passer par-dessus un homme à cheval, et que c'est seulement dans les derniers ricochets qu'il reste toujours assez près de la terre pour rencontrer un objet de 6 pieds de hauteur.

§ 203.

II. *Déviation latérale des coups roulans.*

Il paraît qu'on peut admettre, d'après les ex-

(1) Tab. 1 à 7, 2e. vol. — Tab. 4 à 9 et 13 à 18, 3e. vol.

périences ci-après, que les déviations sur 2000 à 2600 pas sont d'environ 30 pas pour la moitié du nombre des coups; et sur 1400 à 1800 pas, d'environ 20 pas.

Calibre.	Degrés d'élévation.	Distance en pas.	Nombre des coups.	Déviation, en pas — dans le tiers du nombre des coups.	dans la moitié du nombre des coups.	dans la totalité du nombre des coups.
Canon de 12.	1	2000 — 2500	64	.	20	222
	1	2000 — 2500	78	20	.	150
Canon de 6.	1	1600 — 2000	60	.	20	104
Canon de 3.	1	1000 — 1600	120	.	20	129
Observation. Ces résultats sont extraits des expériences de Hanovre (1), dans lesquelles le terrain n'était pas favorable au ricochet.						
Canon de 12 ordinaire.	1 ¼ — 5	2390 — 2500	30	.	31	148
Canon de 12 pesant.	½ — 4	2400 — 2600	30	30	38	112
Canon de 6 léger.	2 ⅓ — 5	2000 — 2500	30	.	30	180
Canon de 6 pesant.	2 ¼ — 3 ½	2100 — 2300	27	.	22	180
Canon de 3.	3 — 6	1800 — 2000	30	31	36	126
Ces résultats sont extraits des expériences prussiennes (2), dans lesquelles le terrain était favorable au ricochet.						
Obusier de 7 livres (3).	3	1200 — 2000	14	.	40	103
Idem.	0 — 9	1100 — 2000	30	.	.	200
Idem.	0	1220 — 1700	20	48	.	102
.	2 — 4	1256 — 1815	20	.	40	110
.	4	1012 — 2000	20	.	53	149

(i) Tab. 4 à 7, 2e. vol.
(2) Tab. 13 à 18, 3e. vol.
(3) Tab. 51, 2e. vol. — Tab. 22, n°. 6. — Tab. 69.

Il est à remarquer que dans les expériences de Hanovre, qui eurent lieu sur un mauvais terrain, les déviations latérales des boulets sont, en général, moindres que dans les expériences prussiennes, où le terrain était meilleur; mais il faut dire aussi que les portées sont généralement plus grandes dans les expériences prussiennes, et que les déviations à distances égales ne sont pas aussi différentes qu'elles semblent l'être d'après le tableau.

Pour la détermination des déviations latérales des coups roulans dans les obusiers, on manque d'expériences faites sous de petits angles de tir et avec de fortes charges. Si, dans les expériences qu'on vient de rapporter, les déviations de la totalité des coups ne sont que de 102 et de 200 pas, cela vient probablement du petit nombre de ces coups, dans lesquels on ne peut pas apercevoir toutes les circonstances fortuites. De plus, dans ces expériences, les portées ont été plus petites pour les obusiers que pour les canons; et l'on peut admettre, en général, que sur un même nombre de coups et à portées égales, les déviations des coups roulans sont beaucoup plus considérables dans les obusiers que dans les canons.

La plupart des expériences s'accordent en ce point, que, pour des portées égales, les déviations des boulets ne sont pas plus grandes dans les coups roulans que dans les coups de plein fouet.

On présente ici un tableau de déviations pour des coups roulans et de plein fouet, et pour des portées à peu près égales (1); les portées et les déviations sont des moyennes prises sur 10 coups.

Calibre.	Coups de plein fouet.			Coups roulans.		
	Portées en pas.	Déviation en pas.		Portées en pas.	Déviation en pas.	
		A droite.	A gauche.		A droite.	A gauche.
Canon de 3.	1818	39	40	1887	23	18
Canon de 6 léger.	1853	21	38	2065	31	28
Canon de 6 pesant. . . .	1692	18	31	2184	14	41
Canon de 12 ordinaire. . .	1970	»	23	2390	25	52
Canon de 12 pesant. . .	1986	16	28	2401	11	35

Mais il se trouve toujours dans les coups roulans quelques boulets qui dévient beaucoup de la direction initiale; cependant il est rare que cette déviation aille jusqu'à 150 pas; elle s'élève pourtant, dans quelques cas particuliers, jusqu'à 200 pas.

(1) Tab. 13 à 18.

§ 204.

III. *Probabilité de toucher à coups roulans, eu égard au terrain.*

Pour déterminer combien il y a de boulets qui touchent dans un certain nombre de coups roulans, les expériences déjà citées peuvent fournir, relativement à l'effet qui a lieu sur différens terrains, les propositions suivantes:

1°. Sur un terrain horizontal, en réunissant tous les coups tirés contre deux panneaux de 6 pieds de hauteur, et de 80 et de 200 pieds de longueur, il y a (1) un boulet sur cinq qui touche. Mais si l'on prend seulement les coups qui sont tirés contre le panneau de 200 pieds de longueur, le nombre des boulets qui touchent est du tiers au quart du nombre des coups tirés.

Cependant, comme le panneau de 200 pieds de longueur était à 1800 pas de la pièce de 6, et à 2000 pas de la pièce de 12, distances auxquelles les ricochets sont les plus courts, et les coups roulans par conséquent du plus grand effet, on ne peut pas admettre que le panneau, à toute autre distance, serait touché par le tiers ou le quart des boulets. En plaine, et aux distances

(1) Tab. 19.

où les coups roulans peuvent être employés, lorsqu'il y a du quart au cinquième des boulets qui touchent, on a lieu, en général, d'être satisfait.

Les résultats d'autres expériences (1) s'accordent, jusqu'à un certain point, avec ceux qu'on vient de citer, et leur donnent par conséquent plus de poids.

2°. De bas en haut, c'est-à-dire contre une montagne de 101 pieds de hauteur, et qui avait plusieurs ressauts défavorables au ricochet, la septième partie des boulets a touché un panneau de 6 pieds de hauteur et de 280 pieds de longueur.

3°. De haut en bas, c'est-à-dire du haut de la même montagne contre un panneau de 6 pieds de hauteur et de 80 pieds de longueur, le quart des boulets toucha ; et cela pourrait être porté jusqu'au tiers, en tenant compte des boulets qui sont passés à droite et à gauche du panneau.

Cet effet est très-considérable relativement à ceux qui sont rapportés aux n°. 1 et 2. Cela vient, d'une part, de ce que la position élevée de la pièce est plutôt favorable que contraire à l'effet des coups roulans quand on les tire à des distances considérables ; et, d'autre part, de ce que la distance à laquelle les coups de haut en bas ont été tirés est celle où les coups roulans ont le plus d'effet.

---

(1) Tab. 24 à 27.

Il sera donné de plus amples explications sur ce point.

4°. Il suit encore de ces expériences que, dans un terrain favorable, l'effet des coups roulans est deux fois plus grand que dans un terrain désavantageux.

Nous regardons comme des terrains favorables aux ricochets roulans, les prairies, les pâturages, les bruyères, le sable ferme et les champs labourés, soit que le sol forme des ondulations, soit qu'il se compose de collines en pente douce.

Les terrains désavantageux pour les coups roulans sont les dunes de sable mouvant, les marais, les prairies ou les champs cultivés qui sont coupés d'un grand nombre de fossés, les montagnes escarpées, les chemins creux, les rivières profondes, les digues, et toutes les éminences et enfoncemens qui sont très-rapides.

Toutefois, on ne peut dire qu'un terrain est défavorable aux coups roulans que lorsque plusieurs des objets ci-dessus désignés s'y trouvent réunis.

§ 205.

IV. *Probabilité de toucher à coups roulans, eu égard à la distance du but.*

Les expériences sur les coups roulans fournis-

sent les observations suivantes, relativement à l'effet qu'ils produisent à différentes distances :

1°. Sur un terrain horizontal, on peut faire usage des coups roulans :

Avec le canon de	3 de	800 à 1800 pas.
	6	1000 à 2200
	12	1200 à 2600

Mais ils produisent le plus d'effet :

Avec le canon de	3 de	1000 à 1600 pas.
	6	1200 à 1900
	12	1400 à 2200

A ces distances, le nombre des boulets qui ont touché le but, en plaine, est de $\frac{1}{5}$ dans le canon de 6, et de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{4}$ dans le canon de 12. A 1000 pas, ce nombre est de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{9}$ dans le canon de 6, et il ne s'élève qu'à $\frac{1}{10}$ dans le canon de 12.

Il arrive souvent, d'après la nature du terrain, que le tiers des boulets n'atteint pas aux distances de 1600 et 1800 pas pour le canon de 3, de 1900 à 2200 pas pour le canon de 6, et de 2200 à 2600 pas pour le canon de 12 ; et dans ce cas le nombre des boulets qui touchent le but n'est, selon les circonstances, que du $\frac{1}{9}$ au $\frac{1}{12}$ du nombre des coups tirés.

2°. Dans une expérience de Hanovre (1), la 8e. partie des boulets a touché un panneau de 10

(1) Tab. 26.

pieds de hauteur. Cependant, comme le terrain n'était pas favorable au ricochet, et que le panneau, étant en mauvais état, n'accusait pas tous les boulets qui avaient touché, on peut admettre que l'effet serait plus considérable dans d'autres circonstances, et que celui dont on vient de parler aurait peut-être lieu en tirant contre un panneau de 6 pieds de hauteur.

Pour reconnaître que la probabilité de toucher est beaucoup plus grande dans les derniers ricochets, proportionnellement à leur nombre, que dans les premiers, il suffit de jeter les yeux sur les résultats d'une expérience prussienne (1), où l'on voit que, sur 30 coups tirés à 1800 pas par un canon de 3 contre un panneau de 6 pieds de hauteur, il y eut 8 boulets qui touchèrent, mais deux seulement traversèrent le panneau. Vraisemblablement il y eut à peine la moitié des boulets qui parvint à 1800 pas; et, pourtant, sur les 15 boulets qui atteignirent cette distance, il y en eut 8 qui touchèrent.

Ainsi, nous ne pouvons pas nous tromper beaucoup, en admettant qu'à toutes les distances où il n'arrive que le tiers des boulets, il y a environ la huitième partie qui touche, si toutefois le terrain n'est pas défavorable aux ricochets.

---

(1) Tab. 19.

3°. Il paraît que toute canonnade au delà des distances où n'atteint pas le tiers des coups roulans, peut être regardée comme sans effet, et comme ne menant qu'à une inutile dépense de munitions. Toutes les distances qui dépassent cette limite sont difficiles à estimer; et si l'on se proposait de tirer encore à une distance où ne parviendrait pas la cinquième partie des boulets, on serait exposé, à cause de l'impossibilité d'estimer exactement cette distance, à la prendre si grande, qu'aucun boulet n'y atteindrait. En effet, on voit, d'après nos expériences (1), qu'il n'y a sur dix coups qu'une différence moyenne de 230 pas entre les distances où s'arrêtent le boulet qui porte le plus loin, et la cinquième partie des boulets; dans d'autres expériences (2), cette différence ne va pas même à 100 pas. Or, qui peut estimer une différence de 100 pas dans des distances de plus de 1000?

D'après ce qui vient d'être exposé, et à cause du peu d'effet qu'on obtiendrait aux distances où il ne parvient que la cinquième partie des boulets, il paraît qu'on peut établir pour règle, que la *bonne portée* des coups roulans est déterminée par la distance où parvient au moins le

(1) Tab. 13 à 14.
(2) Tab. 15.

tiers des boulets, ou par la portée moyenne. La dernière détermination semble être encore plus sûre que la première; elle donne communément une distance plus petite.

4°. On a vu que la portée des coups roulans est plus considérable sur un terrain dur, lorsqu'on donne beaucoup d'élévation à la pièce. Dans ce qui précède sur les *bonnes portées*, nous n'avons considéré aucune autre élévation que le but en blanc, et celle de 1 degré au-dessus du but en blanc, par la raison que les distances qui exigent des angles de tir plus considérables ne peuvent s'estimer, ainsi qu'on l'a dit, que d'une manière très-fautive, et qu'il est par conséquent impossible de donner exactement l'élévation qui leur convient. Il faut ajouter à cela qu'on ne peut guère apercevoir, à des distances si grandes, si le terrain qui est devant l'ennemi est dur ou non; s'il s'y trouve beaucoup d'enfoncemens, des chemins creux, des fossés, etc., dans lesquels s'arrêtent les boulets tirés sous un grand angle.

Nous croyons donc que la pièce de 6, pour tirer à coups roulans, doit être pointée horizontalement quand l'ennemi est à la distance de 1000 à 1500 pas; de but en blanc (1 degré au-dessus de l'horizon), à la distance de 1400 à 1800 pas; et sous l'angle de 1 degré au-dessus du but en blanc, c'est-à-dire 2 degrés au-dessus

de l'horizon, quand on le juge éloigné de 1600 à 2100 pas.

§ 206.

L'effet des coups roulans des obusiers, en tant qu'il s'agit de toucher, est à peu près égal à celui des canons; mais il faut ajouter l'effet produit par l'explosion des obus. L'auteur a souvent observé dans les exercices, que, lorsqu'on tirait à coups roulans, ceux des obusiers touchaient plus souvent, toutes circonstances égales, que ceux des canons, quoiqu'il y ait des cas où c'est le contraire qui arrive, comme dans quelques expériences qui eurent lieu à Breslau en 1812.

Il paraît que la plus grande portée de l'obusier de 7 livres est de 1800 pas, et celle de l'obusier de 10 livres de 1900 pas; et comme on peut voir les chutes des obus à des distances considérables, on peut porter l'élévation de l'obusier jusqu'à 4 ou 5 degrés, lorsqu'on estime que l'objet est éloigné de plus de 1500 pas. Sous cet angle, la portée est d'environ 1200 pas jusqu'au point où l'on peut observer la chute des obus, et par conséquent on est sûr de ne pas tirer au delà de l'objet sans reconnaître sa faute.

Il arrive quelquefois que la fusée se sépare de l'obus dans les ricochets; mais en disposant convenablement la tête des fusées et l'œil des obus, on rend l'accident dont il s'agit très-rare. Lorsque

l'on tire les obusiers de 7 livres sous les angles de 15 et de 10 degrés (1), il y a environ de $\frac{1}{10}$ à $\frac{2}{10}$ des obus dont les fusées ne brûlent pas entièrement. Dans les coups roulans tirés sous les angles de 2 à 5 degrés, le nombre des fusées qui ne brûlent pas entièrement est d'environ un tiers; il est plus considérable sous des angles plus petits.

NOTE

SUR

QUELQUES EXPÉRIENCES CHIMIQUES

FAITES EN ALLEMAGNE

SUR LA POUDRE A CANON,

Par M. Terquem, professeur aux écoles royales d'artillerie.

En 1816, l'académie royale des sciences de Gottingue proposa pour sujet de prix la question suivante :

« La théorie de la poudre est toujours énigmatique et enveloppée de beaucoup d'obscurités.

(1) Tab. 68.

Il est vrai que, d'après les expériences d'Ingenhouse et de Rumfort, nous connaissons mieux qu'auparavant les fluides élastiques dégagés dans l'acte de l'explosion, et auxquels on attribue les prodigieux effets de la poudre. Cependant, une circonstance essentielle du phénomène n'est pas encore suffisamment éclaircie : il reste à connaître de quelle source la plus petite étincelle peut tirer cette immense quantité de chaleur capable de convertir presque instantanément une quantité considérable de poudre en vapeurs et substances aériformes, lors même que la poudre est contenue dans un vase hermétiquement fermé, et par conséquent préservée de l'accès de l'air ambiant ; ainsi qu'il résulte des expériences de Rumfort et d'autres physiciens, qui sont parvenus, à l'aide d'une décharge électrique, à enflammer la poudre dans des espaces fermés, et même sous l'eau. Où se trouve la quantité d'oxigène, à la combinaison de laquelle on puisse attribuer la chaleur dégagée, ainsi que cela a lieu dans l'acte de la combustion dans l'air? D'un autre côté, on sait que ni l'inflammation ni l'explosion ne peuvent avoir lieu sous un récipient entièrement privé d'air. Il s'agit de rechercher jusqu'à quel point les petites portions de ce fluide, contenues entre les grains de poudre, peuvent contribuer à son inflammation, et en général d'indiquer où est le siége de cette

masse de calorique qui joue, dans les effets explosifs, un rôle si considérable et encore si peu connu?

Les expériences à entreprendre pour obtenir la solution de ces questions, présentant un haut intérêt même pour la théorie de la chaleur en général, l'académie désire obtenir sur le phénomène de l'inflammation « une explication qui soit fondée sur des expériences exactes, et qui soit conforme aux connaissances acquises sur la nature de la chaleur et des fluides gazeux. On aura soin d'apprécier ce que les anciennes manières d'expliquer les faits présentent de défectueux. »

Le prix n'a pas été décerné, mais un mémoire de M. Munke a obtenu une mention honorable. Nous allons indiquer les expériences principales rapportées dans ce mémoire écrit en allemand, et qui a été imprimé à Marbourg en 1817, sous le titre:

Sur la poudre à tirer, sur ses ingrédiens, sa force et sa manière d'agir. 1 vol. in-8°. de 120 pages.

Ire. Expérience. La poudre ayant été portée subitement, ou avec une grande rapidité, à la température de 240° (*R.*), elle s'enflamma sans se décomposer.

II°. Expérience. La poudre étant mise dans une cuillère d'argent ou de fer, on éleva peu

à peu sa température jusqu'à 230° (*R*); le soufre, allié à très-peu de charbon, commença à se sublimer, et dans l'obscurité on aperçut une petite flamme phosphorescente. Continuant à augmenter la température, la flamme s'étendit, et aurait produit l'inflammation et l'explosion si l'on n'avait pris soin de retirer le vase du feu, ou de souffler dessus pour abaisser la température. Lorsque le soufre est sublimé, il est facile de pousser la température jusqu'à 250° (*R*), et même au delà ; de plus, les grains commencent à se dissoudre dans l'eau du salpêtre, à se boursouffler, et enfin à se coaguler en une seule masse. Continuant l'opération, l'eau, le charbon et l'acide sulfurique disparaissent à leur tour ; et lorsque la cuillère est portée au rouge, il ne reste plus que la potasse, unie à plus ou moins d'acide carbonique, selon le degré d'élévation de la température.

III°. Expérience. La poudre fut placée sous le récipient d'une machine pneumatique, qu'on vida d'air jusqu'à ce qu'il ne restât qu'une pression évaluée à une ligne barométrique. On échauffa la poudre à l'aide d'une lentille assez forte. Une vapeur épaisse, noire, couvrit de suie le disque sur lequel était posée la poudre, ainsi que les parois de la cloche, et l'effet ultérieur des rayons solaires fut ainsi empêché; quelquefois de petits grains de poudre ont été jetés

de tous côtés, mais sans se boursouffler, ils se sont dissous ou réunis en une masse; pendant l'opération, le baromètre monta jusqu'à 4 lignes, ce que l'auteur attribue à la vapeur provenant de l'eau contenue dans la poudre.

Les mêmes effets ont lieu sous le vide barométrique de Toricelli; mais on éprouve une grande difficulté à faire passer la poudre à travers le mercure.

IV. Expérience. On prend un tube de verre de 12 à 18 pouces de longueur et de 2 lignes de diamètre. Après l'avoir bien nettoyé et seché, on le recourbe par un bout qu'on a soin de fermer et d'étirer en pointe. Ainsi préparé, on fixe le tube contre une planche, et on le vide d'air jusqu'à une pression d'une ligne. Versant ensuite dans le tube une quantité quelconque de poudre, on chauffe le tube rapidement au-dessus d'un feu de charbon bien allumé; alors la décomposition de la poudre se fait de suite, sans aucune explosion et sans aucune flamme. On voit s'élever une vapeur épaisse d'un gris blanchâtre, et composée de soufre entraînant un peu de charbon. Cette vapeur remplit tout le tube et s'attache aux parois restées froides. Le soufre sublimé se manifeste sous la forme d'un enduit jaunâtre. Près du soufre on aperçoit le charbon, tandis que le salpêtre, blanc et transparent, reste vers la pointe, à l'extrémité du tube.

V°. Expérience. On met facilement le feu à la poudre à l'aide d'une lentille et sous une pression de 20 à 28 pouces de mercure, dans l'air atmosphérique, et dans les gaz oxigène, hydrogène, acide carbonique, nitrique et nitreux. Le bruit de l'explosion est proportionné à la pression atmosphérique, et non à la densité des gaz. L'auteur croit pourtant que le bruit est, toutes choses égales d'ailleurs, plus faible dans le gaz acide carbonique.

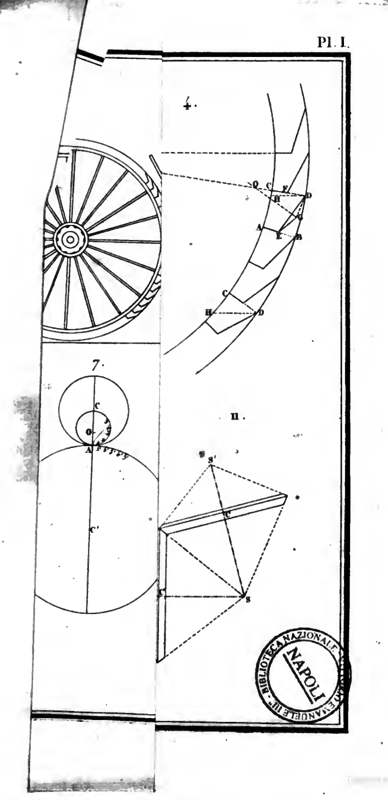
M. Munck fait ensuite une série d'expériences pour trouver les rapports entre le volume de la poudre et le volume des gaz développés par la combustion opérée à l'aide d'une lentille, et sous une pression de 9 lignes de mercure. Il trouve 224 pour valeur moyenne de ce rapport. Ce résultat ne s'éloigne pas beaucoup de celui qu'a donné un autre physicien, M. Meineke, qui a fixé ce rapport à 220. En mettant le feu rapidement à la poudre, comme dans la quatrième expérience, ce rapport s'élève à 1549. Appuyé sur ces résultats, l'auteur élève des doutes sur l'exactitude de l'évaluation de Rumfort, qui estime la force de la poudre à 55 mille atmosphères au *minimum*.

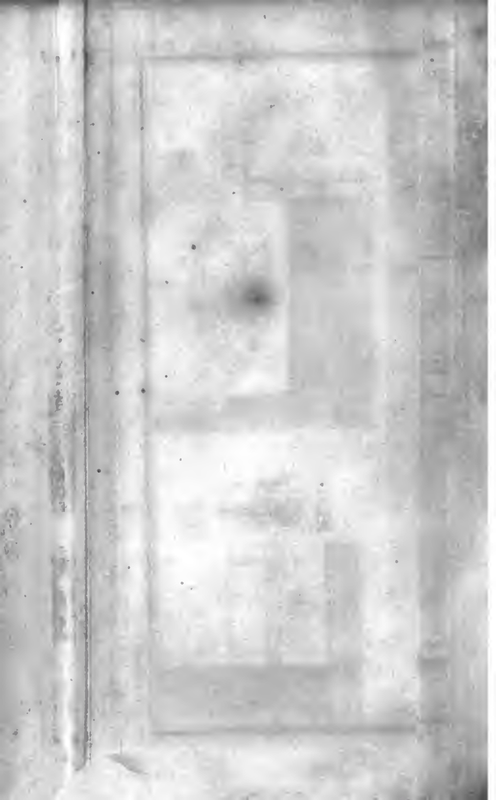
FIN DU DEUXIÈME NUMÉRO.

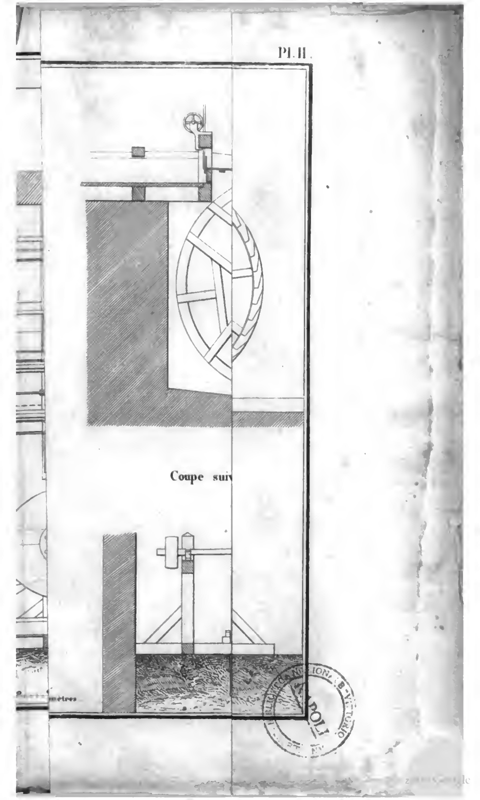
TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

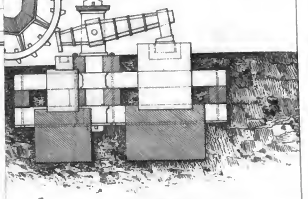
FIN DE LA TABLE.

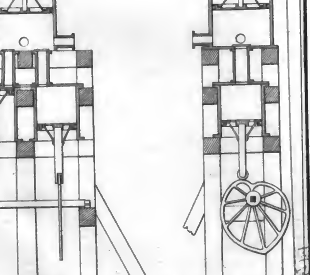

4.
Q
C
F
D
H
G
A
E
B
C
H
D
7.
C
O
A
C'
11.
S'
C
S



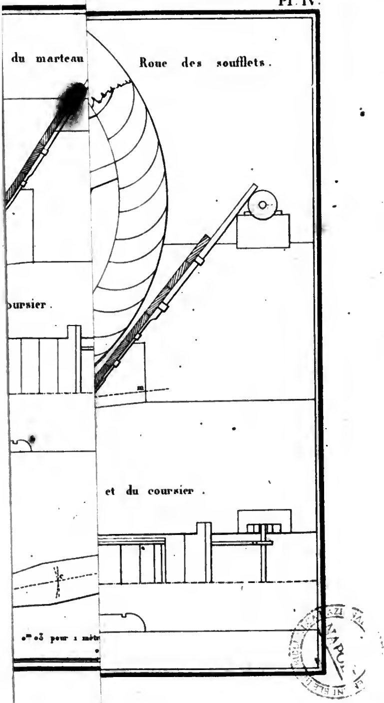

Pl. II.
Coupe suiv
mètres

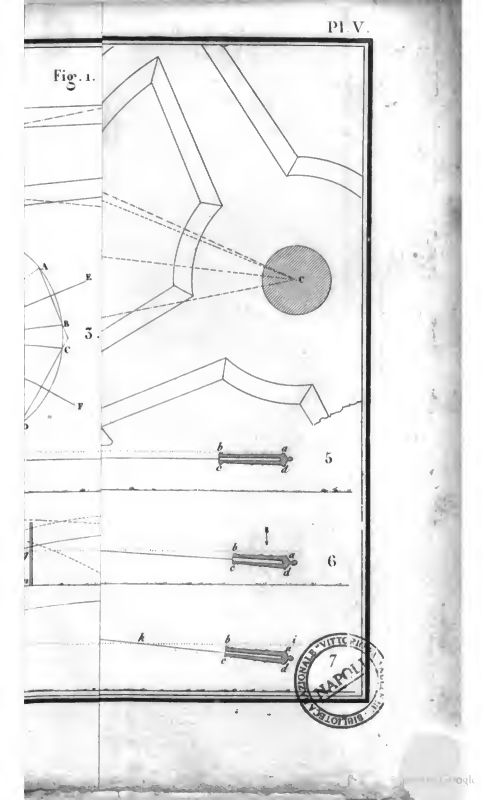

Coupe suivant A B.

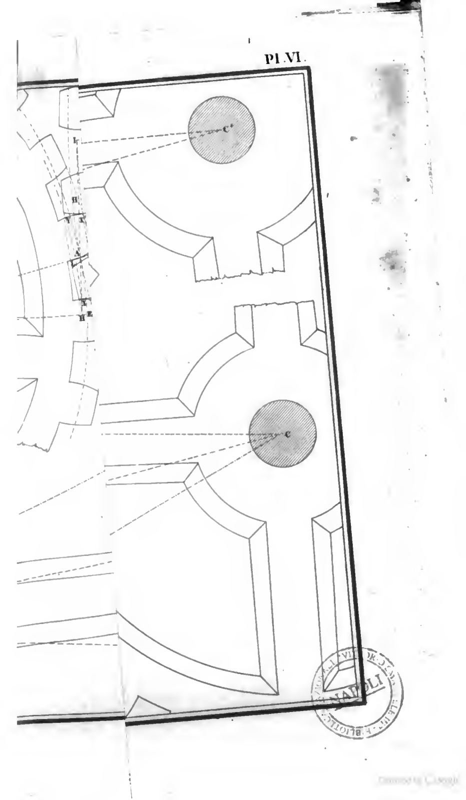


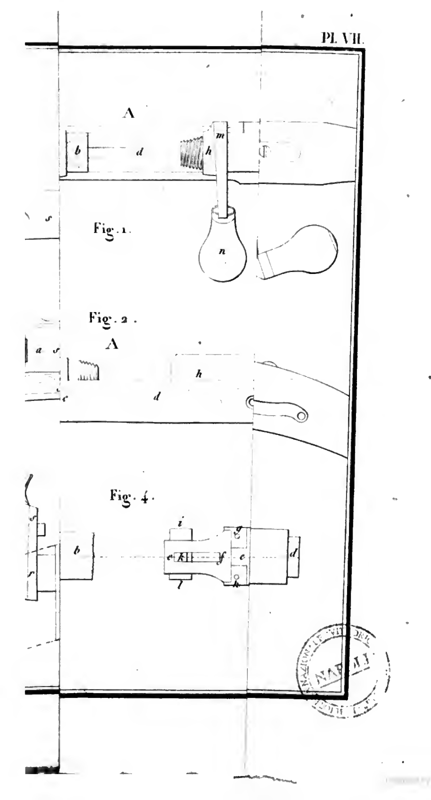

Coupe des soufflets
suivant C D.
suivant E F.

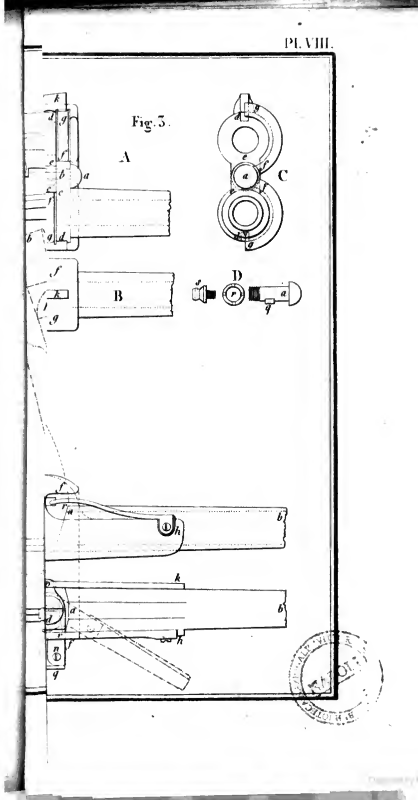
Pl. IV.

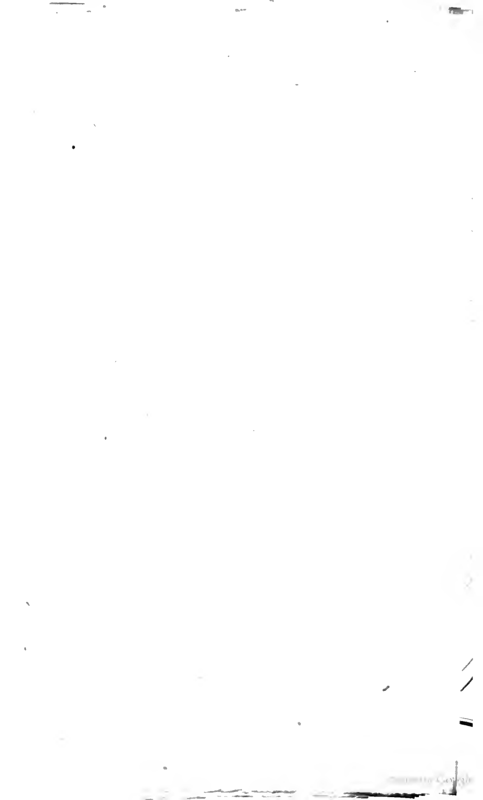

du marteau
Roue des soufflets.
oursier.
m
et du coursier.
c
0m 03 pour 1 mèt

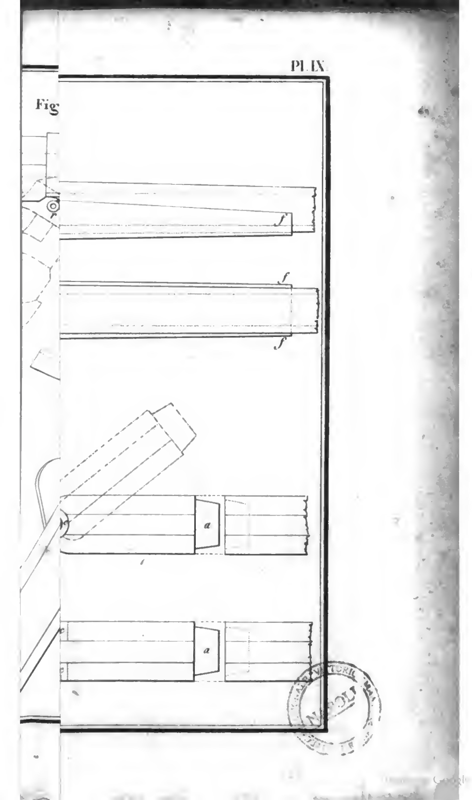

Fig. 1.
A
E
B
3.
C
F
D
C
b
a
c
d
5
6
k
i
7

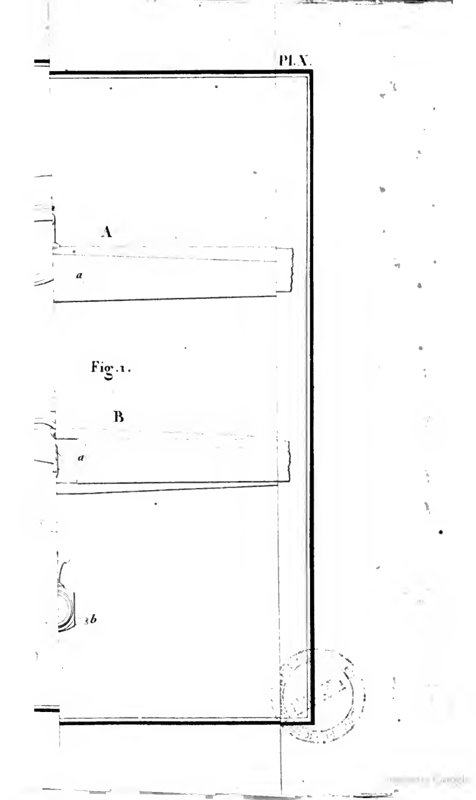

Pl. VI.
C'
L
H
Y
X
A
H
E
C
NAPOLI

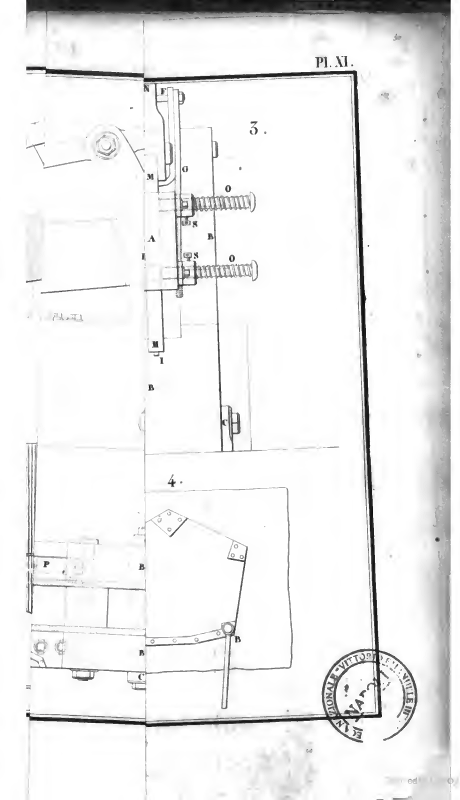

A
b
d
h
m
n
Fig. 1.
s
Fig. 2.
A
a
s
h
d
c
Fig. 4.
i
g
b
e
k
f
c
d
l
h
s
r

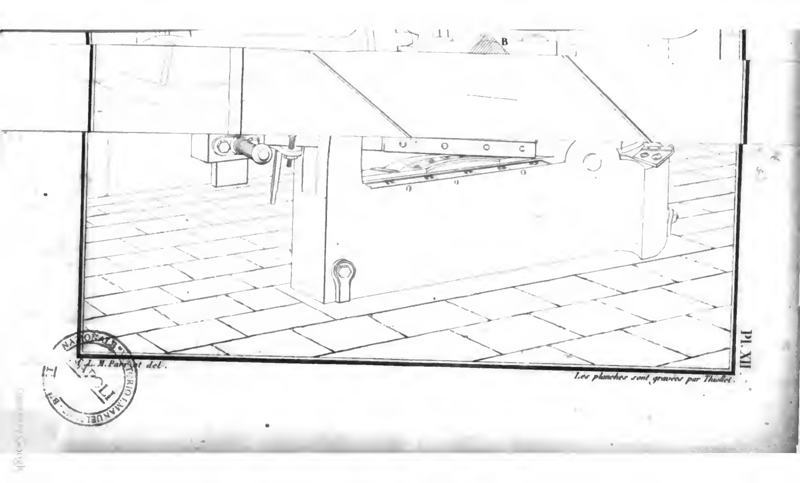

Fig. 3.
A
B
C
D
k
d
g
f
e
b
a
c
h
r
n
o
q
s
p




Pl. IX.
Fig
f
f
f
a
a


Pl.X.
A
a
Fig.1.
B
a
3b


Pl. XI.
3.
N
F
G
M
O
S
A
B
M
I
C
4.
P
B


B
Pl. XII.
Les planches sont gravées par Thuillet.

